

文章编号:1001—7380(2021)01—0011—05

## 宁波四明山樱花花期预报模型及检验

成迪芳<sup>1</sup>,程 路<sup>2</sup>,黄鹤楼<sup>3\*</sup>,严春风<sup>4</sup>,徐 梁<sup>5</sup>

(1. 宁波市海曙区气象局,浙江 宁波 315000; 2. 国家气象中心,北京 海淀 100000;  
3. 宁波市气象局,浙江 宁波 315012; 4. 宁波市海曙区农业技术管理服务站,浙江 宁波 315000;  
5. 浙江省林业科学研究院,浙江 杭州 310023)

**摘要:**该文基于自动气象站逐日平均气温及未来1—30 d智能网格预报数据,应用积温物候模型提取基本温、起算日和活动积温阈值等参数,研究樱花冬季休眠期与活动积温的关系,并建立花期预报模型,对2020年宁波四明山樱花始花期进行预测试验,结果表明:应用研究的花期预报模型预报樱花始花期提前7 d,中樱预测结果较实际观测值偏差3 d,预报准确率有待进一步提高;晚樱预测结果较实际观测值偏差1 d,可用于花期预报和服务。

**关键词:**樱花;物候模型;预报;宁波四明山

中图分类号:Q142.2;S685.99

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2021.01.003

## Forecasting model and test of cherry blossom in Siming Mountain of Ningbo

Cheng Difang<sup>1</sup>, Cheng Lu<sup>2</sup>, Huang Helou<sup>3\*</sup>, Yan Chunfeng<sup>4</sup>, Xu Liang<sup>5</sup>

(1. Ningbo Haishu Meteorological Administration, Ningbo 315000, China; 2. National Meteorological Center, Beijing 100000, China;  
3. Ningbo Meteorological Administration, Ningbo 315012, China; 4. Ningbo Haishu Agricultural Technical Management Service Station, Ningbo 315000, China; 5. Zhejiang Academy of Forestry Sciences, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Based on daily average temperature of automatic weather station and National Weather Forecast Database (NW-FD) for the future 1—30 days, the accumulated temperature phenology model was applied by extracting the parameters such as the basic temperature, starting date and threshold value of the active accumulated temperature. The relationship between dormant period of oriental cherry in winter and active accumulated temperature was analyzed. Also, the forecasting model of flowering period was established. After the prediction experiment on the initial flowering period of cherry blossom in Ningbo Siming Mountain of in 2020, we found out that the cherry bloomed 7 d in advance through the flowering forecast model, the prediction result of *Prunus × yedoensis* blossom deviated 3 d from the actual observation value, showing forecast accuracy to be further improved while the prediction result of *Cerasus serrulata* blossom deviated only 1 d from the actual observation value, which could be used for the prediction and service of flowering time.

**Key words:** Cherry blossom; Phenologic model; Prediction; Siming Mountain, Ningbo

樱花是春季常见景观树种,花期约15 d,但是风、雨天气影响。宁波四明山是国内知名樱花苗木产区和赏樱景区,以国内主流品种中樱“染井吉野”和晚樱“关山”为主,每年赏樱季吸引了大批游客前去观赏。樱花已成为四明山革命老区重要的脱贫致富树,准确地预报樱花花期对指导人们合理安排赏樱时间、做好园区管理,助力乡村振兴和生态宁

波建设具有重要现实意义,也可为国内樱花旅游业提供借鉴作用。

根据物候学基本原理,前期气候条件对植物物候早晚有重要影响<sup>[1]</sup>,其中气温是影响中国木本植物物候的主要因子<sup>[2-3]</sup>。樱花花期预报的主要方法一是基于月平均气温的趋势分析法,即建立开花日序数与关键期平均气温的线性和非线性回归方程;

收稿日期:2020-11-11;修回日期:2020-12-14

基金项目:浙江省气象科技计划项目(2019QN13)

作者简介:成迪芳(1985—),女,浙江绍兴人,硕士,工程师。从事农业气象方面研究。E-mail:chengdifang@foxmail.com。

\*通信作者:黄鹤楼(1965—),男,江苏张家港人,正高级工程师。主要从事农业气象与应用气象研究。E-mail:nbqxt@163.com。

二是基于日平均气温的参数推算法。关于参数的确定方式有 2 种,一种是参数设定:假设达到某一物候现象所需积温相对恒定,此积温要求高于某一基本温(即植物发育阈值),初始日期自定;另一种是参数反算:先给出基本温和起算日的备选范围,然后对这 2 个参数备选值进行组合而求得不同年份的有效积温,再通过反推每年的物候期以预测与实际值的均方差(RMSE)最小来确定这 2 个参数。目前国际上流行的方法有以下几种:美国德克萨斯农工大学 Ring 等<sup>[4]</sup>先根据基本温和起算日的备选组合得到的预测时间和实际发生时间的 RMSE,但是 RMSE 往往存在多个低谷,所以他们不得不根据经验判断最佳的基本温和起算日组合;韩国首尔大学的 Ho 等<sup>[5]</sup>先定义 1 月 1 日和 2 月 1 日 2 个起算日,然后设定不同的基本温备选值,认为能够导致多年有效积温标准误差最小的基本温即目标基本温,从而得到 2 个起算日下对应的基本温为 5.5, 5.8 ℃;日本冈山理科大学、冈山大学、东京大学几位学者 Ohashi 等<sup>[6]</sup>直接定义起算日和基本温,定义基本温为 5 ℃;大阪大学的青野靖之博士<sup>[7]</sup>利用温度变换日数法来确定,根据一个温动态方程求得,只有起算日和温动态方程的一个参数 Ea,根据多年平均的 DTS(日 DTS 表示日平均气温转为标准气温下日完成增长的数量比例的累积值),预测与实际发生时间的 RMSE 最小状态下的起算日和 Ea 即为目标值。与延续国际传统的方法稍有不同,由于观测数据样本少趋势分析不明显,本文采用积温物候模型,即同时给出 1 组起算日和基本温的备选值,通过比较各年活动积温在何时的标准差最小来确定参数,在找出积温的年际变化关系后确定花期预报方程。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

选用四明山杖锡樱花园物候观测资料,观测品种为中樱“染井吉野”和晚樱“关山”。该樱花园位于宁波市海曙区西部山区,远离城区、工厂,无烟尘等有害气体影响。地理位置在东经 121°8′—121°25′E,北纬 29°43′—29°55′N,以砂性山地黄泥为主,腐殖质含量丰富。最高海拔 868 m,多为 5%—15%缓坡种植,空气流通、光照充足、排水良好,樱花树龄 5—10 a,处于苗木生长的青壮期,树体健壮,根系发达,病虫害少,花色鲜艳,较具有代表性。

观测时间为 2016—2020 年每年的 3—4 月。

观测项目为始花期,观测标准为目测每株树有 5%的花开放。

气象资料有 2 部分:一部分是来源于杖锡自动气象站(站号 K2451)2016—2019 年多年逐日平均气温资料序列,另一部分是 2020 年杖锡自动气象站 1—3 月逐日平均气温观测数据和未来 1—30 d 智能网格预报数据。

### 1.2 方法

1.2.1 活动积温概念与计算 积温理论发展由来已久<sup>[8-9]</sup>,本文引用活动积温这一概念。活动积温是指植物在某时期内活动温度的总和,每种植物都有一个生长发育的下限温度,这个下限温度一般用日平均气温表示,这里简称基本温。活动温度即指大于等于基本温的日平均温度,因此活动积温可用以下公式表示,式(1)和式(2)所示:

$$Y = \sum_{x=x_0}^y D(T_x) \quad (1)$$

$$D(T_x) = \begin{cases} 0, & T < T_b \\ T, & T \geq T_b \end{cases} \quad (2)$$

其中, $x_0$ 是积温开始累积的时间,通常以日序来表示,例如, $x_0$ 为 31 是指当年的 1 月 31 日。 $Y$ 是预测的植物物候期(日序), $T_x$ 是第  $x$  日的日平均气温; $D(T_x)$ 是高于某界限温度值的累积温度,简称积温。 $T_b$ 是生长发育的下限温度,即基本温。 $Y$ 是活动积温,当  $Y$  达到完成发育所需的活动积温阈值,植物就达到所求物候期。

1.2.2 物候模型参数估计 使用物候期序列中所有年的观测数据进行模型参数值估计。参数值估计采用最小标准差原则,假设有一组数值  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_N$ (皆为实数),其平均值(算术平均值)为  $\mu$ ,标准差  $\sigma$  的计算公式为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

式中,要求标准差  $\sigma$  最小。标准差在概率统计中最常使用作为统计分布程度上的测量依据,其定义是总体各单位标准值与其平均数离差平方的算术平均数的平方根,它反映组内个体间的离散程度。

## 2 建立预报方程

### 2.1 基本温的确定

为确定当地樱花春季树液回流开始生命活动的界限温度,设置 1 月 1 日、2 月 1 日、3 月 1 日共 3 个积温起算日期。从 1—10 ℃ 每隔 1 ℃ 作为樱花活

动积温的基本温参考值,以5 d滑动平均气温稳定通过基本温为起点,计算2016—2019年共4 a的活动积温平均值和标准差。研究发现,中樱品种(染井吉野)的标准差 $\sigma$ 在4—5℃区间和8℃左右出现极小值,且4—5℃区间极小值最低(见图1)。再将4—5℃区间以0.1℃为间隔,计算对应活动积温及标准差,发现1月1日起算时积温标准差最小值均出现在基本温为4.5℃;2月1日起算时积温标准差最小值均出现在基本温为4.3℃时;3月1日起算时积温标准差极小值均出现在基本温为4.3、6.2℃时,其中4.3℃时并非最小值,可能原因与2月下旬平均气温已经稳定通过该基本温有关,但受到植物生理特性的影响,仍然出现极小值现象。中樱的基本温研究表明,4.3℃是其品种特有的特征温度,与起算日无关。

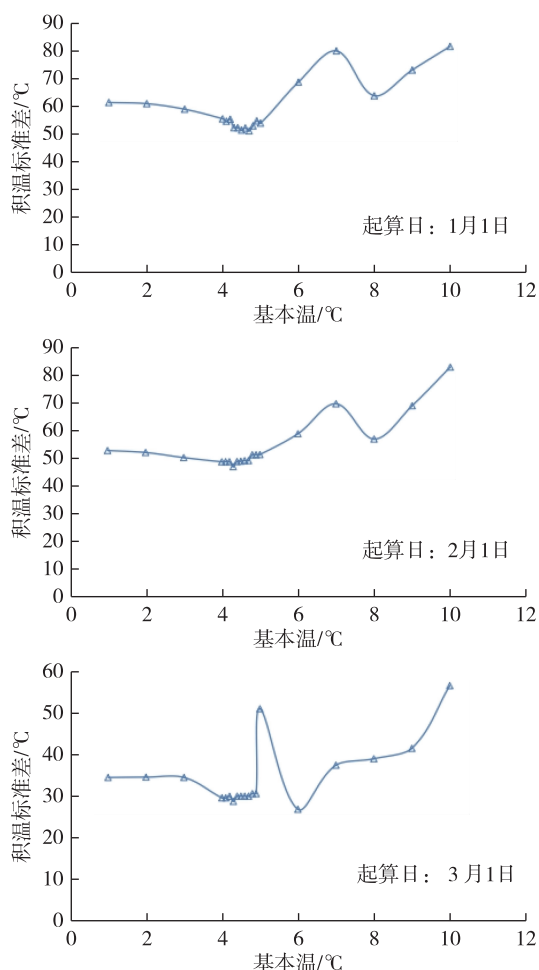


图1 不同起算日不同基本温下的中樱活动积温标准差

晚樱(关山)相较中樱而言,其基本温特性与中樱既具有共性、也具有特殊性(见图2)。1月1日起算时积温标准差最小值均出现在基本温为4.3℃

时,次小值为10.7℃;2月1日起算时,积温标准差最小值均出现在基本温为4.3℃时,次小值出现在10.5、10.6℃;3月1日起算时,积温标准差极小值均出现在基本温为10.5、10.6℃和4.3℃时,和中樱类似的是4.3℃也非积温标准差的最小值。晚樱的基本温研究发现,4.3、10.6℃是其品种特有的2个特征温度,与起算日无关。

无论是中樱还是晚樱,不同起算日下均出现了特征温度4.3℃。日本学者 Ohashi 等<sup>[6]</sup>认为樱花基本温为5℃,首尔大学的 Ho 等<sup>[5]</sup>研究认为樱花基本温为5.5℃。受地形地势影响,不同海拔高度和坡向会造成温度的差异性变化。结合之前研究,在采用当前气象观测站监测数据的前提下,认为本地樱花的基本温为4.3℃。

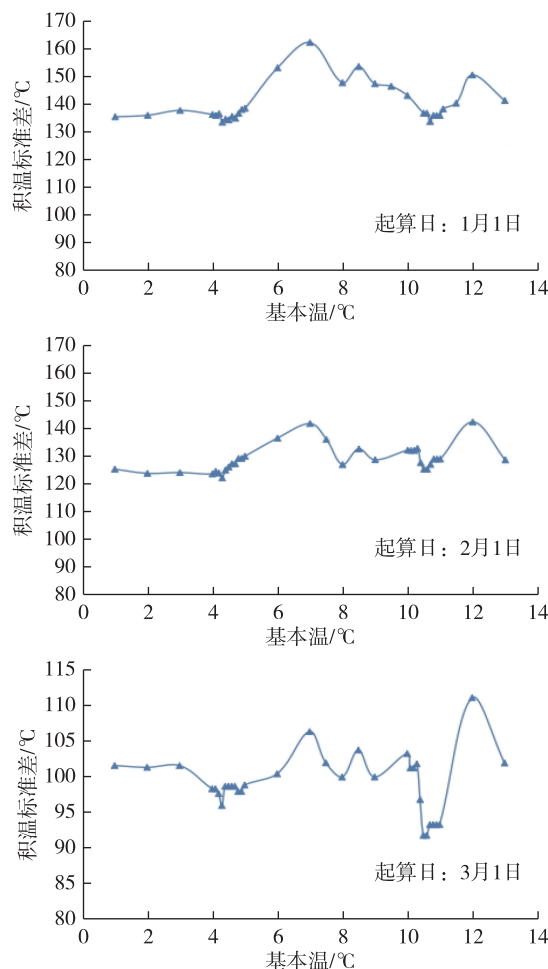


图2 不同起算日不同基本温下的晚樱活动积温标准差

## 2.2 冬季气温与活动积温的关系

定义日平均气温稳定通过基本温至始花期之间,大于等于基本温的平均气温累计值为GDD(Growing Degree Days)。根据已有结果<sup>[10]</sup>,GDD在不同地点、不

同年份间存在一定的差异,这与植物在冬季经受的低温刺激不同有关。在上年冬季气温更寒冷的地点或年份,对早春树木萌动至始花期的活动积温有直接影响,但不同品种对低温的响应并不明确。多数学者认为冬季低温会延迟始花期,高温导致提前开花。仲舒颖等<sup>[11]</sup>在研究中认为萌动至始花期积温与冬季气温呈自然指数关系。张艳红<sup>[12]</sup>在对杜鹃花始花期与温度关系的试验中发现,杜鹃花开花对低温的要求因种而异,早花品种对低温要求较少,适当低温延长了休眠期;晚花品种要求低温多一些,充足低温反而有利于提前开花;中花品种对温度响应更加复杂,适当低温会提前开花,低温过多则延迟开花。而储吴樾等<sup>[13]</sup>的研究则认为,低温对海棠初花期的稳定性有重要影响:早、中花期品种对低温需求大些,且对休眠时间有严格限制,晚花品种间初花期的顺序稳定性要低些。

由于不能确定不同樱花品种对冬季气温如何响应,本文对中樱( $GDD_{中}$ )和晚樱( $GDD_{晚}$ )分开加以分析。对中樱花期分析发现,其 $GDD_{中}$ 与休眠期气温 $T$ (气温低于基本温时段,主要集中在上年12月至当年2月第5候)呈线性关系并通过显著性水平0.05的 $T$ 检验(见图3),且 $GDD_{中}$ 满足方程:

$$GDD_{中} = -41.3 \times T + 370.9$$

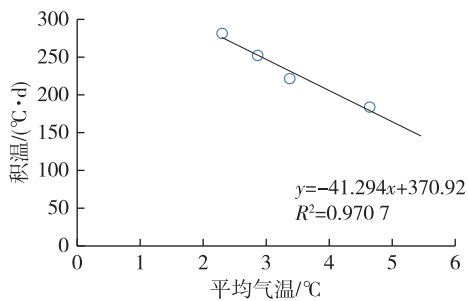


图3 中樱始花期 GDD 与休眠期平均气温关系

对晚樱花期分析发现, $GDD_{晚}$ 与休眠期气温 $T$ 同样呈线性关系,且通过显著性水平0.05的 $T$ 检验(见图4), $GDD_{晚}$ 满足方程:

$$GDD_{晚} = -42.3 \times T + 530.7$$

通过对中樱和晚樱 $GDD$ 与休眠期气温 $T$ 的关系发现,休眠期气温与 $GDD$ 成负相关,休眠期气温每升高1℃,樱花初春绽放所需有效积温将减少约41—43℃;晚樱与中樱相比,从花芽萌动到开花所需有效积温多160℃。上述结果受限于观测数据样本容量,仍需继续增加观测以提升 $GDD$ 与休眠期气温 $T$ 关系的准确性。

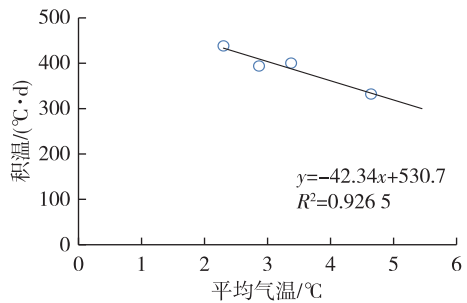


图4 晚樱始花期 GDD 与休眠期平均气温关系

### 2.3 建立始花期预报方法

第1步,计算冬季樱树休眠期平均气温,并通过回归方程计算中樱、晚樱开花所需积温 $GDD_0$ 。

第2步,自2月下旬起,计算气温稳定通过基本温4.3℃的日期,以及稳定通过后每日累计的有效平均温度。其中平均温度采用观测数据加未来1—30 d智能网格预报数据。考虑到目前30 d智能网格预报数据无日平均气温预报,故采用最高、最低气温预报进行订正获得。结合历史同期数据获得日平均气温拟合方程为:

$$\text{日平均气温 } T = 0.5188 \times (T_{\max} + T_{\min}) + 0.60$$

第3步,判断最新预报数据下,积温 $GDD$ 满足目标积温 $GDD_0$ 的日期,即为樱花花期的始花期。实际服务时,可结合最新智能网格预报动态更新预报结论。

### 2.4 2020 年始花期预测检验

2020年2月18日为日平均气温稳定通过基本温4.3℃的日期。中樱品种冬季越冬期间(2019年11月26日—2020年2月18日)平均气温为5.015℃,根据推演公式计算得到从萌动到开花的积温为163.8℃。3月6日经实况观测和智能网格预报数据计算,预计达到目标积温(165.7℃)的日期为2020年3月12日,实际观测到的始花期为3月15日,偏差3 d。

2020年晚樱品种越冬期间平均气温为5.015℃,根据推演公式计算从萌动到开花的积温为319.8℃。3月25日经实况观测和智能网格预报数据计算,预计达到目标积温(329.8℃)的日期为4月3日,实际观测到的始花期为4月4日,偏差1 d。

## 3 结论与讨论

本文选用积温模型,通过标准差最小来确定参数基本温和起算日,然后找出积温和冬季休眠期气温的关系,进而计算所需积温。前人一般设定从起算日至始花期的积温恒定,以多年平均活动积温作为指标,或



者从起算日到实际开花日的累积温度的日平均值恒定,来作为始花期的临界值。本文参考文献发现,积温在不同地点、不同年份间存在一定的差异,这与植物在冬季经受的低温刺激不同有关,樱花等作物冬季存在休眠期,该时段内的气温对萌动至始花期的活动积温存在影响,且不同花期的樱花对气温的响应是不一致的。因此研究了樱花对低温的响应情况,故对积温和冬季休眠期气温作了相关分析,根据冬季气温情况确定了萌动至始花期的活动积温。

(1)根据模型计算,2020 年中樱花花期预报较实际观测值偏差 3 d,预报准确率有待进一步提高;晚樱花期预报较实际观测值偏差 1 d,可用于花期预报和服务。

(2)受限于观测数据样本容量,模型计算中  $GDD$  与休眠期气温  $T$  关系的准确性还不太高,需在今后通过继续观测和计算来提升,以及考虑随着观测数据样本容量的增加使用非线性动态方程替换线性模型。

(3)高温、干旱、大风等灾害性天气可能对始花期有一定影响,后续还可以考虑在模型中加入多气象要素的综合影响。

(4)确定参数基本温和起算日时,积温标准差极小值出现在 8, 10.6 °C,可能表明这 2 个温度值一方面与樱花生理特征有关,另一方面也代表了其自身品种的特性。

(5)本文未对花期持续时间和落花期建立预报模型,有待进一步研究。

#### 参考文献:

[1] 竺可桢,宛敏渭.物候学[M].北京:科学出版社,1984.

- [2] 张福春.北京春季的树木物候与气象因子的统计学分析[J].地理研究,1983,2(2):57-64.
- [3] 徐雨晴,陆佩玲,于强.气候变化对我国刺槐、紫丁香始花期的影响[J].北京林业大学学报,2004,26(6):94-97.
- [4] RING D R, HARRIS M K. Predicting pecan nut casebearer (*Lepidoptera*: *Pyrilidae*) activity at College Station, Texas[J]. *Environmental Entomology*, 1983, 12:482-486.
- [5] HO C H, LEE J I, JEONG S J. Earlier spring in Seoul, Korea [J]. *International Journal of Climatology*, 2006, 26:2117-2127.
- [6] OHASHI Y, KAWAKAMI H, SHIGETA Y, et al. The phenology of cherry blossom (*Prunus yedoensis* "Somei-yoshino") and the geographic features contributing to its flowering[J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56:903-914.
- [7] AONO Y. Climatological studies on blooming of cherry tree (*Prunus yedoensis*) by means of DTS method[J]. *Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Series B*, 1992, 45:155-192.
- [8] Hunter A F, Lechowicz M J. Predicting the timing of budburst in temperate trees[J]. *Journal of Applied Ecology*, 1992, 29(3):597-604.
- [9] CANNELL M G, SMITH R I. Thermal time, chilling days and prediction of budburst in *Picea sitchensis* [J]. *Journal of Applied Ecology*, 1983, 20(3):951-963.
- [10] BENNIE J, KUBIN E, WILTSHIRE A, et al. Predicting spatial and temporal patterns of bud-burst and spring frost risk in north west Europe: the implications of local adaptation to climate[J]. *Global Change Biology*, 2010, 16(5):1503-1514.
- [11] 仲舒颖,葛全胜,戴君虎,等.中国典型观赏植物花期模型建立及过去花期变化模拟[J].资源科学,2017,39(11):2116-2129.
- [12] 张艳红.低温对丹东杜鹃花花期的影响[J].安徽农业科学,2007,35(26):8213,8228.
- [13] 储吴越,范俊俊,张往祥.观赏海棠花期物候稳定性及其对温度变化的响应[J].南京林业大学学报(自然科学版),2020,44(5):49-54.

(上接第 10 页)

- [5] 邹莉,于洋,孙婷婷,等.原始红松林土壤微生物量动态及其与土壤理化性质的关系[J].草业科学,2014,31(1):15-21.
- [6] 丁新景,敬如岩,黄雅丽,等.基于高通量测序的 4 种不同树种人工林根际土壤细菌结构及多样性[J].林业科学,2018,54(1):81-89.
- [7] 李博.生态学[M].北京:科学出版社,2000.
- [8] 李振高,骆永明,滕应.土壤与环境微生物研究法[M].北京:科学出版社,2008.
- [9] 国春菲.土壤盐分和 pH 对滨海盐土土壤微生物多样性的影响[D].临安:浙江农林大学,2013.
- [10] 池振明.现代微生物生态学[M].北京:科学出版社,2020.
- [11] 侯海军,张文钊,沈建林,等.水分管理对稻田细菌丰度与群

落结构的影响[J].生态环境学报,2016,25(9):1431-1438.

- [12] 黄雅丽,田琪,秦光华,等.黄河三角洲刺槐白蜡混交对土壤细菌群落结构及多样性的影响[J].生态学报,2018,38(11):3859-3867.
- [13] 李聪.不同林型对林下土壤理化性质与土壤细菌多样性的影响[D].哈尔滨:东北林业大学,2013.
- [14] 隋心,张荣涛,杨立宾,等.三江平原不同类型小叶章湿地土壤细菌群落功能多样性[J].环境科学研究,2016,29(10):1479-1486.
- [15] 杨亚东,王志敏,曾昭海.长期施肥和灌溉对土壤细菌数量、多样性和群落结构的影响[J].中国农业科学,2018,51(2):290-301.
- [16] 徐飞,蔡体久,杨雪,等.三江平原沼泽湿地垦殖及自然恢复对土壤细菌群落多样性的影响[J].生态学报,2016,36(22):7412-7421.