doi: 10.7690/bgzdh.2026.10.020

基于改进 RRT 算法的路径规划研究

王兆阳，徐　达
（陆军装甲兵学院，北京　100072）

摘要：针对传统快速随机树（rapidly-exploring random trees，RRT）算法在路径规划过程中存在的生成搜算节点盲目、收敛速度慢和最终路径曲折冗长等问题，提出改进传统 RRT 算法。通过对障碍物进行判定并引入概率值引导随机树生长，减少了生成的随机点，提高了搜索效率；利用变步长提高了算法的收敛速度；对最终路径进行拉伸处理并通过 3 次 B 样条曲线进行优化。多组仿真结果表明：改进后的 RRT 算法相比传统算法，路径长度更短更平滑，搜索时间更短，效率更高。

关键词：RRT 算法；路径规划；目标偏向；3 次 B 样条曲线
中图分类号：TP391　　**文献标志码：**A

Research on Path Planning Based on Improved RRT Algorithm

Wang Zhaoyang, Xu Da
(*Army Academy of Armored Forces*, *Beijing* 100072, *China*)

Abstract: In response to the problems of blind generation of search nodes, slow convergence speed, and lengthy final path in the path planning process of traditional rapid exploring random trees (RRT) algorithm, an improved RRT algorithm is proposed. By identifying obstacles and introducing probability values to guide the growth of random trees, the number of generated random points is reduced and search efficiency is improved; The use of variable step size has improved the convergence speed of the algorithm; Stretch the final path and optimize it through 3 B-spline curves. Multiple simulation results show that the improved RRT algorithm has shorter and smoother path length, shorter search time, and higher efficiency compared to traditional algorithms.

Keywords: RRT algorithm; path planning; goal bias; cubic B-spline curve

0　引言

随着时代的发展和科技进步，以无人机、无人车、机器人等为代表的先进设备得到了广泛的应用。其中，路径规划是极为重要的一环，其任务是为设备自主地规划出一条从起始位置到目标位置，且能避开所有障碍物的路径[1]。可大致分为基于几何模型搜索、基于概率采样、人工势场法和智能算法。

快速随机树（RRT）算法是一种基于随机采样的快速搜索算法[2]，在路径规划领域得到了广泛的应用。RRT 算法以起点为根节点，在可操作空间中开始随机采样，加以特定的约束条件下完成随机树扩展工作，当随机树上的点到达在目标点附近设定的范围内时，就能得到一条从起点到目标点间的无碰路径[3]。但通过 RRT 算法得到的路径通常不是最优路径，且通过狭窄通道困难，拓展具有盲目性，收敛速度慢。

近年来，许多学者对 RRT 算法进行了大量研究，Cao 等[4]采用目标引力的思想来加快路径搜索速度，增强了随机树在生长过程中偏向目标点的能力，有效地提高了算法搜索出最优线路的概率和搜寻速度。Tahirovic 等[5]提出的采样式运动规划（rapidy-exploring random vines，RRV）算法通过主动在障碍物附近和狭窄通道中生长提高了通过狭窄通道环境的效率。陈锦涛等[6]提出了一种 RRT 森林算法，通过提升随机树森林的搜索广度，提升算法搜索效率，并基于动态规划的冗余点移除方法得到节点稀疏且路程最短路径。RRT 算法存在扩展无方向性、随机性强、规划路径冗长且收敛时间较长的问题[7]。

笔者针对 RRT 算法存在的问题进行改进，在选择采样点时，通过目标偏置策略，引导随机树的生长，减少盲目性；通过对一定范围内进行障碍物判别，在新节点生成时引入权重系数，引导随机树向目标点方向生长或加强随机性尽快绕过障碍物；通过动态步长提高搜索效率，缩短收敛时间；对生成的路径进行拉伸处，去除冗余节点，通过 3 次 B 样条曲线对路径平滑处理，提高路径质量。最后通过仿真实验验证了改进算法的可行性和有效性。

收稿日期：2025-02-14；**修回日期：**2025-03-18
第一作者：王兆阳（1998—），男，河北人，博士。

1　RRT 算法

RRT 算法是一种通过随机采样模拟树木生长的路径规划算法[8]。从起点开始，通过随机采样在空间中快速搜索扩展可行域，避开空间中的障碍物，生成一个树状搜寻路径，直到树上枝桠生长扩展到终点为止，从而沿树干找到一条起始点和目标点之间的无碰撞可达路径。其对于空间中障碍物的描述要求低，且理论上能对整个可行域进行搜索，具有概率完备性，即在有可行路径存在的情况下，通过足够多次的运行，采样点数达到一定量后，一定能寻找到一个可行路径，如图 1 所示。

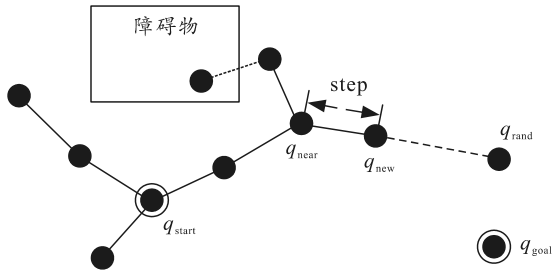


图 1　基本 RRT 算法

基本 RRT 算法流程：

1) 确定根节点为起始点 q_{start}，初始化随机生长树。

2) 在搜寻空间中进行随机采样，获得随机采样点 q_{rand}。

3) 在随机生长树中找到距离 q_{rand} 最近的点，将其作为 q_{near}。

4) 在点 q_{rand} 与 q_{near} 两点间选择一定步长 step 为距离得到新节点 q_{new}。

5) 判断最近点 q_{near} 与新节点 q_{new} 间存在障碍物阻隔与否，若存在障碍物阻隔，放弃该节点，重新进行随机采样；若没有障碍物阻隔，将 q_{new} 放置于随机树中并以 q_{near} 为父节点。

6) 不断循环直至寻找到目标点 q_{goal}。

7) 回溯节点父子关系找出路径。

2　改进 RRT 算法

2.1　判断障碍物

由于 RRT 算法随机生成新节点，对于拓展点周边的环境没有判断，在随机树生长到障碍物附近时无法快速越过障碍物，影响收敛速度。在进行新节点生成步骤前，对最近节点附近障碍物数量的多少进行判断，通过感知到的障碍物数量的多少选择生成新节点的生成方式，如图 2 所示。

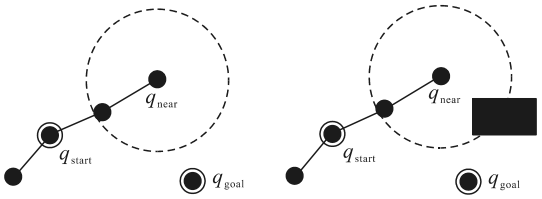


图 2　障碍物判断

图 2 中，在 q_{near} 处设定一个范围，在这个范围内进行障碍物判定，若其中没有障碍物则判定为障碍物少，反之则判定为障碍物多。

2.2　目标偏置

设置概率值 P，当对障碍物的判定为少时，通过随机函数 rand 在[0, 1]范围内生成的值与 P 比较，如果小于 P，那么设目标点为生成点；相反，则随机生成点。当障碍物判定为多时，则直接采取随机生成。

$$q_{rand}=\begin{cases} q_{goal} & rand<P \\ q_{rand} & rand\geqslant P \end{cases}。\tag{1}$$

2.3　新节点生成

通过目标点与随机生成点共同生成新节点，先对障碍物进行判别，若处于障碍物较多的区域，加大随机点对新节点的影响，减小目标点影响，尽快避开障碍物，若附近没有障碍物，加大目标点对新节点的影响，加速向目标点方向探索。

$$q_{new}=q_{nearest}+\text{eps}\left(k_1\left(\frac{q_{rand}-q_{nearest}}{\|q_{rand}-q_{nearest}\|}\right)+k_2\left(\frac{q_{goal}-q_{nearest}}{\|q_{goal}-q_{nearest}\|}\right)\right)。\tag{2}$$

式中：eps 为步长，根据障碍物判定动态变化，障碍物多就采取大步长，反之就采取小步长；k_1、k_2 为引力因子，通过改变 k_1、k_2 的大小，控制新节点的生成，提高收敛速度。

2.4　路径平滑

由于 RRT 算法的随机采样使得规划路径不仅曲折，且有大量的绕远路径和节点，需要进行进一步剪枝处理，如图 3 所示。

1) 当随机树生长到终止点意味着路径搜寻结束，在存放的节点中从终止点向前逐次确定其对应父节点。

2) 将选出的节点按父子顺序依次排列，从起始点开始向下对其以后每个节点都按序进行连接并全部开展障碍物碰撞检测，如果在与第 K 个节点连接

时障碍物碰撞检测没有听过，选取 $K-1$ 个节点作为新的起点对后面节点进行连接并进行障碍物碰撞检测，到达终止点结束。

3) 将起点和终点保留，其余节点剔除，形成新的路线。

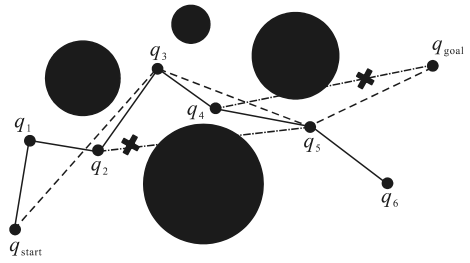


图 3 拉伸处理

但是在路径转弯处仍不平滑，再通过 3 次 B 样条曲线对简化路线进行平滑处理。3 次 B 样条曲线方程中基函数为：

$$\left.\begin{aligned} G_{0,3}(t)&=(-t^3+3t^2-3t+1)/6\\ G_{1,3}(t)&=(3t^3-6t^2+4)/6\\ G_{2,3}(t)&=(-3t^3+3t^2+3t+1)/6\\ G_{3,3}(t)&=t^3/6\\ t&\in[0,1] \end{aligned}\right\}。\tag{3}$$

综上所述，改进算法流程如图 4 所示。

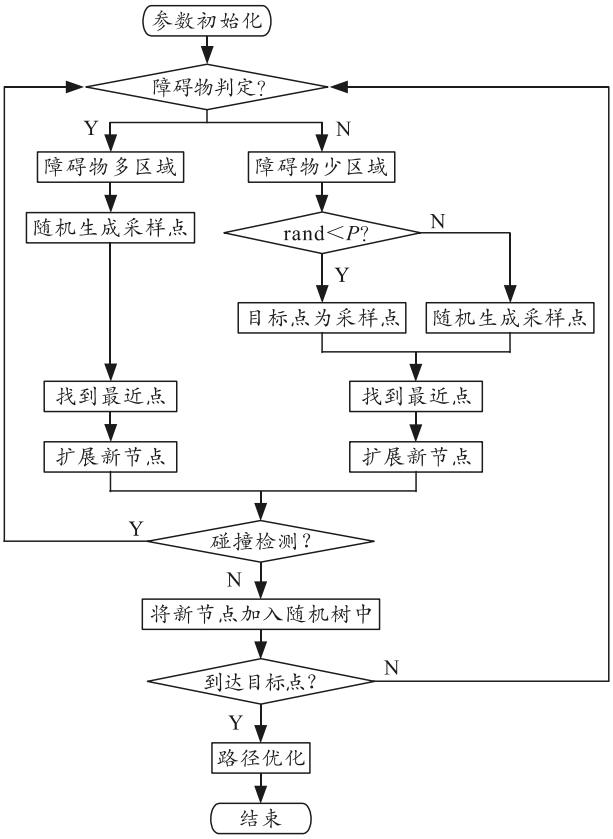
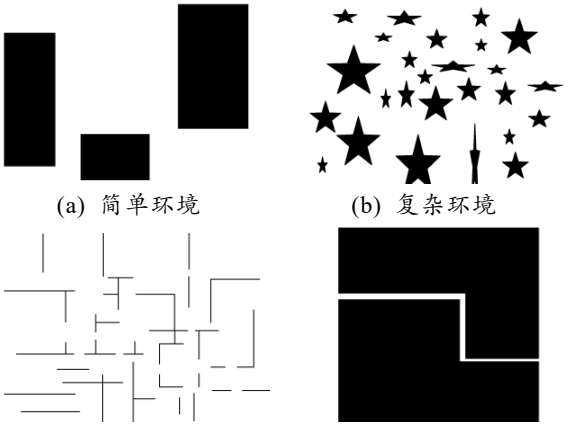


图 4 改进算法流程

3 仿真验证

在 Matlab 中，进行改进 RRT 算法和 RRT 算法对比仿真实验。为验证改进算法的性能，采用简单环境、复杂环境、狭窄环境和迷宫环境 4 种地图，仿真地图大小为 1 400 m×1 000 m，起点坐标(20, 20)，终点坐标(1 280, 911)，结果如图 5 所示。

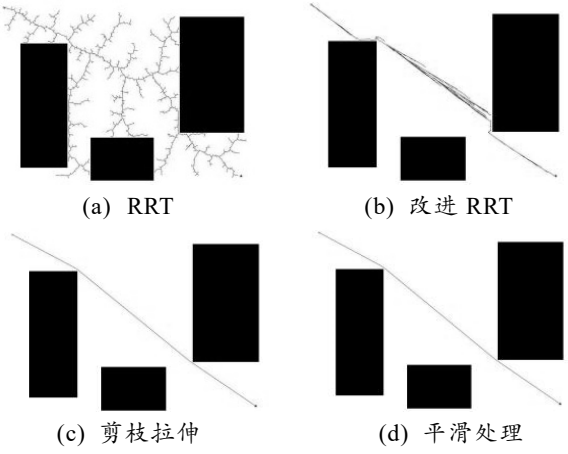


(a) 简单环境 (b) 复杂环境

(c) 迷宫环境 (d) 狭窄环境

图 5 4 种地图环境

图 6 为简单环境，表 1 为简单环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比。



(a) RRT (b) 改进 RRT

(c) 剪枝拉伸 (d) 平滑处理

图 6 简单环境

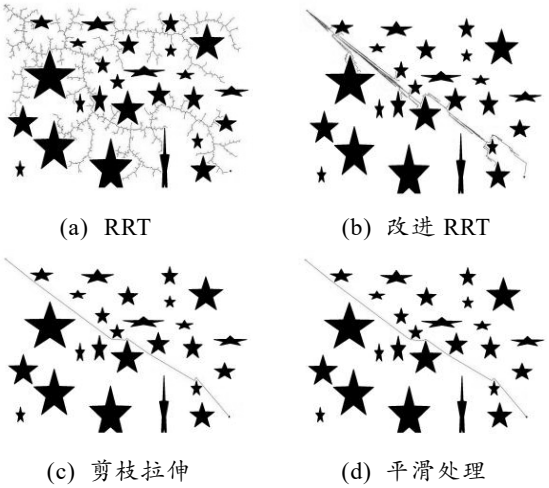
表 1 简单环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比

算法	时间/s	距离/m	搜索点数
RRT 算法	76.15	1 876.55	2 417
改进 RRT 算法	6.45	1 548.00	622

图 6 可以看出：在简单环境中，障碍物较少，改进 RRT 算法通过目标偏向使随机树快速向目标点生长，明显减少了采样点数量，提高了搜索效率，又通过障碍物判别采取动态步长加速随机树生长，缩短了搜索时间，再经过剪枝拉伸处理后，路径缩短明显，最后平滑处理使得路径质量更优，改进后算法搜素时间下降 91.5%，路径距离缩短 17.5%，

采样点数量减少 74.3%。

图 7 为复杂环境，表 2 为困难环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比。



(a) RRT　(b) 改进 RRT

(c) 剪枝拉伸　(d) 平滑处理

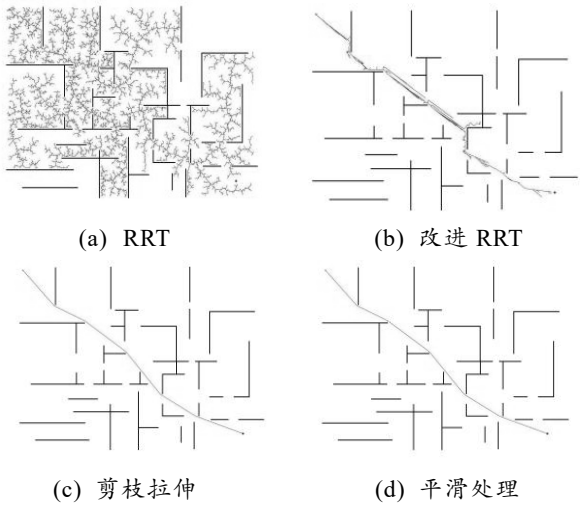
图 7　复杂环境

表 2　复杂环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比

算法	时间/s	距离/m	搜索点数
RRT 算法	175.24	2 293.50	3 868
改进 RRT 算法	46.55	1 585.21	1 841

由图 7 可以看出：在复杂环境中，改进 RRT 算法在被判别为障碍物少的区域内，以大步长快速向目标点探索，当探索到被判别为障碍物多的区域时，将增大新节点的随机性，不在进行目标点引导，同时改为小步长，随机树在障碍物附近进行扩散生长，达到快速绕过障碍物的目的，改进后算法搜素时间下降 73.4%，路径距离缩短 30.9%，采样点数量减少 52.4%。

图 8 为迷宫环境，表 3 为迷宫 RRT 算法与改进 RRT 算法对比。



(a) RRT　(b) 改进 RRT

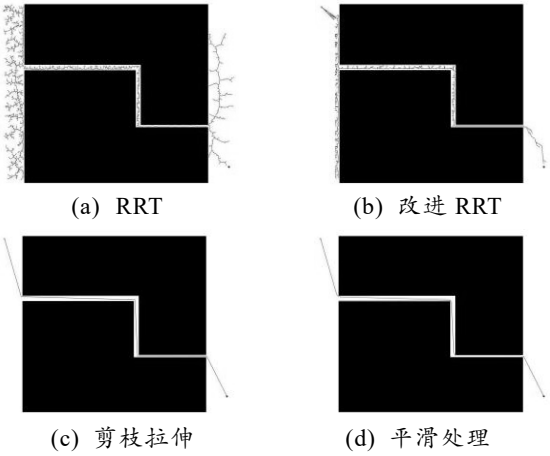
(c) 剪枝拉伸　(d) 平滑处理

图 8　迷宫环境

表 3　迷宫环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比

算法	时间/s	距离/m	搜索点数
RRT 算法	1 424.52	2 183.07	10 830
改进 RRT 算法	8.67	1 572.65	738

图 9 为狭窄环境，表 4 为狭窄环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比。



(a) RRT　(b) 改进 RRT

(c) 剪枝拉伸　(d) 平滑处理

图 9　狭窄环境

表 4　狭窄环境 RRT 算法与改进 RRT 算法对比

算法	时间/s	距离/m	搜索点数
RRT 算法	107.02	2 293.95	2 478
改进 RRT 算法	57.26	1 928.54	1 973

图 8 和 9 可以看出：在迷宫环境和狭窄环境中，因为特殊的障碍物环境，如果只采用随机采样就会产生大量的无效采样点，不仅影响收敛速度，而且会降低算法搜索成功率。在 2 种环境中，改进后算法搜素时间下降 99.4%、46.5%，路径距离缩短 28.0%、15.9%，采样点数量减少 93.2%、20.4%。

4　结论

笔者针对基本 RRT 算法的问题，提出一种改进 RRT 算法，通过对障碍物进行判别确定所处位置，确定是否采取目标偏置策略，减少了采样点数量，提高了算法的搜索效率；通过新节点生成公式，结合动态步长缩短了算法的收敛时间；通过剪枝拉伸和 3 次 B 样条曲线优化处理缩短了路径长度，提高了路径质量。仿真对比实验结果表明：改进 RRT 算法缩短了路径规划时间，提高了路径规划质量，在多种环境中具有良好表现。

参考文献：

[1] 刘紫燕, 张杰. 改进 RRT 算法的室内移动机器人路径规划[J]. 计算机工程与应用, 2020, 56(9): 190-197.

[2] DOMAE Y. Recent Trends in the Research oh Industrial Robots and Future Outlok[J]. Journal of Robotics and

Mechatronics, 2019, 31(1): 57−62.
[3] 张许有, 刘有余. 势能代价 PRM 算法的机械臂避障路径规划研究[J]. 机械科学与技术, 2022, 41(4): 552−558.
[4] CAO X M, ZOU X J, JIA C Y, et al. RRT-based path planning for an intelligent litchi-picking manipulator[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2019, 156: 105−118.
[5] TAHIROVIC A, FERIZBEGOVIC M. Rapidly-exploring random vines (RRV) for motion planning in configuration spaces with narrow passages[C]//IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA). Brisbane, 2018: 7055−7062.
[6] 陈锦涛, 李鸿一, 任鸿儒, 等. 基于 RRT 森林算法的高层消防无人机室内协同路径规划[J]. 自动化学报, 2023, 49(12): 2615−2626.
[7] 闫皎洁, 张锲石, 胡希平. 基于强化学习的路径规划技术综述[J]. 计算机工程, 2021, 47(10): 16−25.
[8] 徐启航. 基于改进型 RRT-Connect 算法的六自由度机械臂路径规划研究[D]. 青岛: 青岛理工大学, 2021.

****

（上接第 89 页）

参考文献：

[1] 张永峰, 李志伟. 基于 SEM 的潜艇反鱼雷作战能力评估探讨[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(11): 117−121.
[2] 马变峰, 屈晓光, 曹宇飞. 基于 ADC 模型的地空导弹组网作战效能评估[J]. 现代防御技术, 2017, 45(1): 28−34.
[3] 龚亮, 王庆权, 罗红吉. 防空导弹武器系统作战效能评估实战化改进模型[J]. 现代防御技术, 2021, 49(6): 15−21.
[4] 刘伟, 梁甲慧. 基于 BP 神经网络的地空导弹混编群作战效能评估[J]. 舰船电子工程, 2021, 41(4): 18−21, 51.
[5] 乔蓉, 周峰. 基于 PCA-BP 神经网络地空导弹武器系统作战效能评估[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(4): 38−43, 67.
[6] 陈金宏, 鲁明, 黄凯. 改进的防空导弹武器系统作战效能评估模型[J]. 现代防御技术, 2017, 45(3): 13−21.
[7] 朱枫, 韩晓明, 南海阳. 防空导弹反临近空间武器作战能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2017, 42(3): 8−12, 24.
[8] 时维科, 刘乔, 李绍隆. 基于舰载平台的近程反导武器系统作战能力评估方法研究[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(1): 282−287, 294.
[9] 张永峰, 曲丰. 潜艇鱼雷攻击目标作战能力评估方法研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(11): 9−12.
[10] 张晓航. 防空导弹武器装备体系作战效能全局敏感性分析方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2010.
[11] 杨娟, 朱延雷, 何榕. 面向装备体系作战效能评估的 SEM 建模与评估方法[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(2): 33−36.
[12] 刘学星. 基于结构方程模型的装备体系评估方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2020.
[13] 韩驰, 熊伟, 刘文文, 等. 基于结构方程模型的天基信息系统效能评估[J]. 系统仿真学报, 2022, 34(8): 1799−1810.
[14] 张少卿. 基于非线性 SEM 的航空反潜装备作战能力评估方法[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011.
[15] GERHARD C, BÜCHNER R D, KLEIN A G, et al. A Fit Index to Assess Model Fit and Detect Omitted Terms in Nonlinear SEM[J]. Structural Equation Modeling, 2017, 24(3): 414−427.
[16] 汪洲, 胡会东. 基于数据挖掘的装备效能验证与评估方法[C]// 第 18 届中国系统仿真技术及其应用学术年会论文集(18th CCSSTA 2017). 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2017: 342−345.
[17] 刘娜, 李国栋, 陈健军. 基于 SEM 的网络化作战体系能力分析[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019, 14(4): 404−411.
[18] 寨成刚, 陈峰, 岳旭斌. 海基反导资源部署及作战能力 SEM 评估[J]. 指挥信息系统与技术, 2018, 9(5): 74−79.
[19] 齐小刚, 刘学星, 张博孜, 等. 基于结构方程模型的武器装备体系涌现性度量模型[J]. 兵工学报, 2020, 41(2): 406−416.