

DOI:10.3969/j.issn.1003-5060.2024.04.014

草菇复合保鲜工艺研究

许嘉麒^{1,2,3}, 刘咏³, 董娜^{2,3}, 王军辉^{1,2,3}

(1. 合肥工业大学农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽合肥 230601; 2. 合肥工业大学安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽合肥 230601; 3. 合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽合肥 230601)

摘要:草菇(*Volvariella volvacea*)是营养丰富的高温菌类,保鲜是草菇生产流通环节中的难点。文章以草菇质量损失率、自溶指数、腐烂指数和褐变度等为评价指标,通过单因素试验和正交试验研究温度、1-甲基环丙烯(1-MCP)体积比和乙醇体积比等对草菇保鲜效果的影响。研究表明:草菇复合保鲜工艺条件是保鲜温度为13℃、1-MCP体积比为30 μL/L、乙醇体积比为200 μL/L;在该条件下贮藏的草菇褐变度较低、蛋白质和总糖损失较少,综合变化值最小。进一步分析表明,与UV-B辐照保鲜、乙醇保鲜、1-MCP保鲜、低温保鲜等传统单一保鲜工艺相比,复合保鲜工艺处理过的草菇在贮藏过程中质量损失率、自溶指数、腐烂指数、维生素C质量比的损失等均有所降低,保鲜效果更好。研究结果为草菇复合保鲜工艺的开发提供了理论依据。

关键词:草菇;复合保鲜;正交优化;理化指标

中图分类号:TS255.36

文献标志码:A

文章编号:1003-5060(2024)04-0522-06

Study on compound preservation technology of *Volvariella volvacea*

XU Jiaqi^{1,2,3}, LIU Yong³, DONG Na^{2,3}, WANG Junhui^{1,2,3}

(1. Engineering Research Center of Bio-process of Ministry of Education, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China; 2. Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China; 3. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230601, China)

Abstract: Straw mushroom (*Volvariella volvacea*) is a high-temperature fungus with rich nutrition. Preservation is a difficulty during the production and circulation of straw mushrooms. In this study, the effects of temperature, ethanol volume ratio and 1-MCP volume ratio on the preservation of straw mushrooms were studied by single factor tests and orthogonal tests. The weight loss rate, autolysis index, decay index and browning degree of straw mushrooms were used as evaluation indexes. The results indicated that the technology conditions for the compound preservation of straw mushrooms were preservation temperature of 13 °C, 1-MCP volume ratio of 30 μL/L and ethanol volume ratio of 200 μL/L. The straw mushrooms stored under these conditions showed lower browning, less loss of protein and total sugars. It also had the smallest combined variation values. Further analysis revealed that compared with traditional single preservation technologies (UV-B irradiation, ethanol preservation, 1-MCP preservation and low temperature preservation), the weight loss rate, autolysis index, decay index and vitamin C loss of straw mushrooms treated with the compound preservation technology were all reduced during storage, which had better preservation effect. The results provide valuable data for the development of the compound preservation technology for straw mushrooms.

Key words: *Volvariella volvacea*; compound preservation; orthogonal optimization; physical and chemical indexes

收稿日期:2021-11-29;修回日期:2022-01-13

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(JZ2020YYPY0246)

作者简介:许嘉麒(1998—),男,安徽合肥人,合肥工业大学硕士生;

刘咏(1968—),女,安徽滁州人,合肥工业大学教授,硕士生导师,通信作者,E-mail:liuyong@hfut.edu.cn;

王军辉(1976—),男,广西陆川人,博士,合肥工业大学教授,硕士生导师。

0 引言

草菇(*Volvariella volvacea*),又名兰花菇、麻菇及中国菇等,属层菌纲伞菌目光柄菇科小苞脚菇属^[1]。草菇作为世界第三大食用菌,味道鲜美,富含膳食纤维、氨基酸、蛋白质、维生素和矿物质,近年来消费量和产量不断增加^[2-4]。然而,不同于大多数食用菌,草菇属于采后代谢活动旺盛的高温菌类^[5],低温保藏容易自溶,常温保藏易褐变和失水^[6],新鲜的草菇很容易在几天内失去其原有品质,严重制约了草菇的流通和商业价值^[7]。传统单一保鲜工艺具有局限性:物理保鲜效果较差,化学保鲜往往伴随着试剂残留,常受到消费者对其安全性的质疑。这些因素促使研究人员针对草菇保鲜工艺不断进行开发和改善。

本文将物理保鲜与化学保鲜工艺相结合,提出一种复合保鲜工艺,通过质量损失率、自溶指数、腐烂指数和维生素C质量比等指标考察该复合保鲜工艺的保鲜效果。为深入研究草菇的保鲜工艺提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

材料选用新鲜草菇,购于灵璧县乡缘循环农业发展有限公司。主要试剂如下:乙醇、浓硫酸、2,6-二氯酚靛、碳酸氢钠、磷酸、牛血清白蛋白等,均为分析纯,均购于国药集团化学试剂有限公司;1-甲基环丙烯(1-MCP)购于咸阳西秦生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

高速冷冻离心机(Thermo Fisher Scientific公司);恒温水浴锅(金坛市金城国胜实验仪器厂);紫外可见分光光度计(上海棱光技术有限公司);生化培养箱(合肥达斯卡特生物科技有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 草菇前处理

选取大小相近、无开伞、无病害、无明显自溶的新鲜草菇进行实验。用清水将草菇表面的泥土杂质洗净,切除根部,擦干表面水分,放置于15℃生化培养箱中预冷2h。

1.3.2 单因素试验

1) 草菇属于高温食用菌,在0~10℃贮藏时,子实体发生变色,自溶;而在25~30℃贮藏时,容易出现开伞、老化的现象^[5],通常情况下草

菇的保鲜温度在13~17℃之间。此外,除低温保鲜外,速冻保鲜是近年来常用于保存食用菌的保鲜技术^[8]。因此,将新鲜草菇分成4个组,每个处理组900g左右,洗净晾干后分装到PE保鲜袋内记录起始质量,随后将4组草菇分别放置于-4、13、15、17℃贮藏温度的生化培养箱中进行贮藏。每隔24h检测一次相关指标,考察不同保鲜温度对草菇保鲜效果的影响。

2) 配制不同体积比的1-MCP水溶液,将不同体积比(0、21、24、27、30、33 μL/L)的1-MCP保鲜剂均匀喷洒于草菇上,晾干,密封箱包装后放置于15℃生化培养箱中贮藏,24h检测一次相关指标。考察不同体积比1-MCP对草菇保鲜效果的影响。

3) 配制不同体积比的乙醇水溶液,将不同体积比(0、200、400、600、800、1 000 μL/L)的乙醇均匀喷洒于脱脂棉,脱脂棉与草菇放入体积相同的密封箱内15℃熏蒸处理3h,将草菇通风30min后分装到PE保鲜袋内封口。包装后的草菇放于15℃的生化培养箱贮藏,每24h检测一次相关指标。考察不同体积比乙醇对草菇保鲜效果的影响。

1.3.3 正交试验

在单因素试验结果的基础上,以保鲜温度(A)、1-MCP体积比(B)、乙醇体积比(C)为因素,以综合变化值(其中褐变度占40%,蛋白质质量比占40%,总糖质量比占20%)为评价指标,进行 $L_9(3^4)$ 正交试验,以确定最佳工艺。试验因素水平见表1所列。

表1 正交试验因素水平

	A	B	C
水平	保鲜温度/ ℃	1-MCP 体积比/ (μL/L)	乙醇体积比/ (μL/L)
1	13	21	200
2	15	27	400
3	17	30	1 000

1.3.4 复合保鲜工艺效果比较

在正交试验基础上,以质量损失率、自溶指数、腐烂指数和维生素C质量比作为指标,比较复合保鲜工艺与传统单一保鲜工艺(UV-B 辐照保鲜、乙醇保鲜、1-MCP 保鲜、低温保鲜)在草菇保鲜性能上的差异。其中乙醇保鲜、1-MCP 保鲜、低温保鲜的工艺条件由单因素试验确定。

1.3.5 指标测定

1) 质量损失率。选用文献^[4]的方法并稍作

修改。取不同保鲜条件处理过的样品,记录其起始质量,之后每隔 24 h 测定其质量。质量损失率的计算公式为:

$$\text{质量损失率} = \frac{[\text{贮前草菇的质量} - \text{不同贮藏期的草菇质量}]}{\text{贮前草菇质量}} \times 100\%$$

2) 自溶指数。参照文献[6]的方法进行测定。自溶指数的计算公式为:

$$\text{自溶指数} = \frac{\sum[(\text{自溶级数} \times \text{该级菇数})]}{\text{总菇数}} \times 100\%$$

3) 腐烂指数。参照文献[7]的方法并稍作修改。取不同处理后的样品,按照草菇腐烂面积大小将草菇腐烂程度进行分级:0 级表示无腐烂;1 级表示腐烂面积小于 25%;2 级表示腐烂面积达到 25%~50%;3 级表示腐烂面积大于 50%。腐烂指数的计算公式为:

$$\text{腐烂指数} = \frac{\sum[(\text{腐烂级别} \times \text{该级草菇数})]}{(\text{最高腐烂级别} \times \text{总草菇数})} \times 100\%$$

4) 褐变度。参照文献[9]的方法并稍作修改。从样品中随机取 6~8 株草菇,切下菌盖表面菇体,再取 2 g 菇体,将草菇按与蒸馏水 1:20 的比例研磨,研磨后倒入小烧杯中,沸水加热 1 min,冷却后配平离心,转速为 5 000 r/min,时间为 5 min,离心完成后,以蒸馏水为对照在 410 nm 处

测定其吸光度,褐变度为吸光度的 20 倍。

5) 维生素 C 质量比。采用文献[10]的方法测定维生素 C 质量比。

6) 可溶性蛋白质质量比。采用文献[4]的方法进行测定,以牛血清白蛋白作为标准品。

7) 总糖质量比。参照文献[11]的方法进行测定,以葡萄糖作为标准品。

1.4 数据处理

实验数据以(平均值±标准差)表示。利用 SPSS 26.0 进行数据分析,采用 Origin 9.0 软件绘制图表。结果通过单因素方差分析进行比较,并采用 t 检验和方差分析比较各平均值之间的显著性差异。

2 结果分析

2.1 单因素试验

2.1.1 保鲜温度对草菇采后品质的影响

新鲜草菇采后旺盛的呼吸作用和蒸腾作用会迅速消耗菇内的水分和有机物,导致质量减轻、自溶变软、腐烂发臭以及褐变^[12]。因此常用质量损失率、自溶指数、腐烂指数和褐变度作为评价草菇保鲜效果的重要指标。不同保鲜温度对草菇采后品质的影响如图 1 所示。

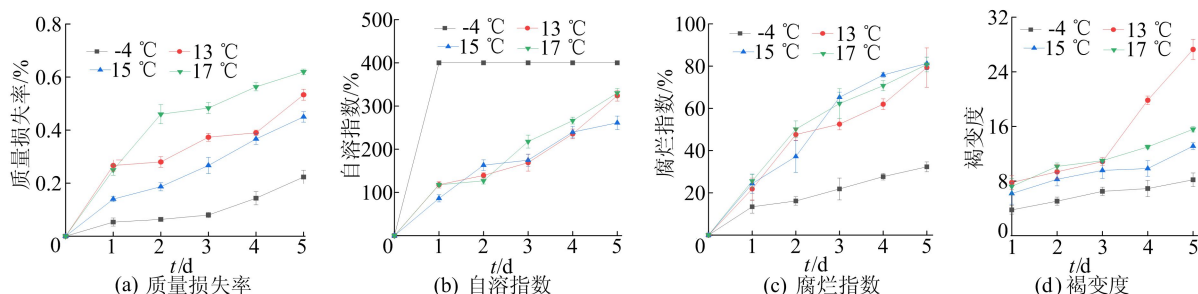


图 1 不同保鲜温度对草菇采后品质的影响

由图 1a 可知,不同保鲜温度下各组质量损失率随着贮藏天数的增加而升高,在第 5 天达到最高点。其中-4 °C 处理组的质量损失率最低,与其余 3 种温度的处理组相比,显示出极显著差异 ($P < 0.01$),说明-4 °C 保鲜温度下抑制草菇质量损失的效果最好。这可能是由于草菇在极低温度下贮藏时其采后旺盛的新陈代谢被抑制,从而达到降低质量损失的效果。

由图 1b 可知,-4 °C 处理组的自溶指数在第 1 天达到最大值,菇体表面发生明显的溶解现象,说明-4 °C 不适合作为草菇的保鲜温度。这可能是由于草菇属于高温菌类,过低的保鲜温度

下容易发生生理病害^[5]。15 °C 处理组第 5 天的自溶指数最低,与其余处理组相比差异显著 ($P < 0.05$),对草菇自溶表现出良好的抑制作用。

由图 1c、图 1d 可知,随着保存时间的增加,不同保鲜温度下草菇的腐烂指数和褐变度不断升高。结果显示,-4 °C 处理组的腐烂指数和褐变度远低于其他处理组,这可能是由于低温抑制了草菇表面微生物和多酚氧化酶活性,降低了贮藏时的腐烂程度和褐变度。

2.1.2 1-MCP 体积比对草菇采后品质的影响

1-MCP 是一种有效的乙烯受体抑制剂,它能够通过阻断乙烯与受体的正常结合,从而抑

制乙烯诱导的食用菌后熟或衰老进程^[13]。不同体积比的1-MCP对草菇采后品质的影响如图2所示。

由图2a可知:所有1-MCP处理组的质量损失率均低于对照组(1-MCP体积比为0 $\mu\text{L/L}$);随1-MCP体积比的增加,质量损失率呈先降低后升高的趋势;27 $\mu\text{L/L}$ 处理组对采后质量损失的抑制效果最好,与对照组相比,显示出极显著差异($P<0.01$)。这可能是由于1-MCP体积比较低时对草菇生长的抑制作用较差;1-MCP体积比过高,水分从草菇内渗出,导致质量下降。

由图2b、图2c可知,27 $\mu\text{L/L}$ 处理组的自溶指数和腐烂指数最低,表明27 $\mu\text{L/L}$ 体积比下1-MCP对草菇采后自溶和腐烂的抑制效果最好。

过高体积比(30~33 $\mu\text{L/L}$)下,处理组的自溶指数和腐烂指数与对照无显著性差异,可能是由于1-MCP体积比过高可能会引发不良挥发物的产生,导致菇体软化^[14]。文献^[15]已报道使用过量的1-MCP可能会加快木瓜果实成熟。

由图2d可知,未添加1-MCP的对照组的褐变度随着贮藏时间的增加迅速上升,表明1-MCP能够有效延缓草菇的褐变,可能是由于1-MCP能够降低草菇乙烯释放量和呼吸强度后熟行为被抑制。1-MCP对草菇褐变的抑制效果随着体积比的增加先升高后降低,27 $\mu\text{L/L}$ 处理组的褐变度最低,可能是由于1-MCP在低体积比下的生长抑制作用较差,高体积比下产生的挥发性物质导致草菇着色异常^[14]。

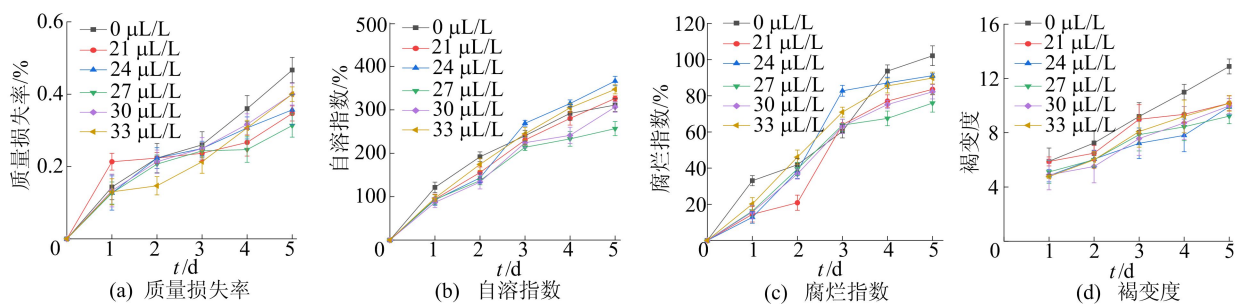


图2 1-MCP体积比对草菇采后品质的影响

2.1.3 乙醇体积比对草菇采后品质的影响

乙醇是一种安全性经过美国食品和药物管理局认可的食品保鲜剂^[16],可抑制多种霉菌、细菌

及腐败菌的滋生,从而起到良好的保鲜效果。不同体积比乙醇对草菇采后品质的影响如图3所示。

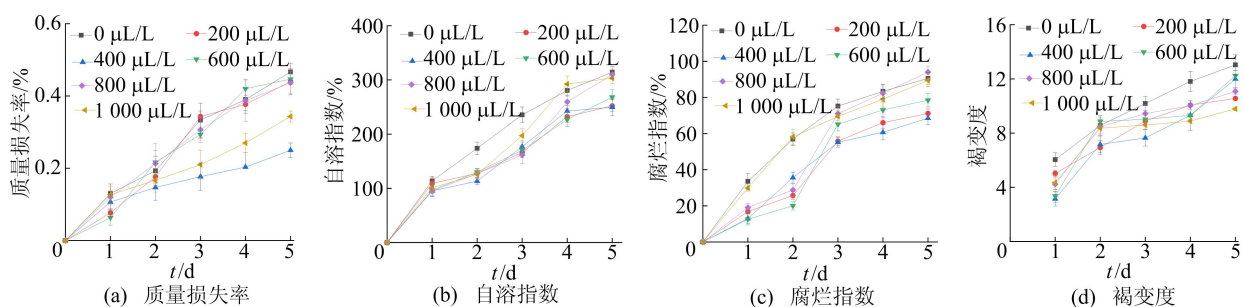


图3 乙醇体积比对草菇采后品质的影响

由图3a可知:草菇的质量损失率随着保存天数的增加而增加,通常在第3天增长速度达到最大值,随后草菇各项品质指标的降低速度趋于平缓;在第5天,乙醇400、1000 $\mu\text{L/L}$ 处理组与对照组(乙醇体积比为0 $\mu\text{L/L}$)表现出显著性差异,表明适当体积比的乙醇溶液能够有效抑制草菇采后的质量损失。

由图3b、图3c可知:经400 $\mu\text{L/L}$ 乙醇处理过的草菇自溶指数和腐烂指数在第5天时的数值最低,表现出最佳的保鲜效果;而800、1000 $\mu\text{L/L}$ 处理组与对照组(乙醇体积比为0 $\mu\text{L/L}$)之间无显著性差异,这可能是由于乙醇体积比过高使得草菇表面细菌的蛋白质迅速凝固变性,形成保护层从而阻止乙醇进一步地渗透,无法取得良好的杀

菌效果。

由图 3d 可知,1 000 $\mu\text{L/L}$ 乙醇处理组对草菇采后褐变的抑制作用最佳,可能是由于乙醇体积比在 1 000 $\mu\text{L/L}$ 下能够迅速挥发,充满保鲜袋,从而达到吸附草菇表面水分、抑制多酚氧化酶活性目的。

2.2 正交试验

正交试验结果见表 2 所列,由表 2 可知,各因

素对草菇保鲜效果影响从大到小依次为保鲜温度(A)、乙醇体积比(C)、1-MCP 体积比(B)。以褐变度变化值、蛋白质质量比变化值、总糖质量比变化值为评价指标,正交试验的最优复合保鲜工艺为保鲜温度 13 $^{\circ}\text{C}$,1-MCP 体积比 30 $\mu\text{L/L}$,乙醇体积比 200 $\mu\text{L/L}$ 。进行验证试验,综合变化值为 6.40,低于 $A_1B_1C_1$ 处理组,故最优复合保鲜工艺确定为 $A_1B_3C_1$ 。

表 2 正交试验结果

试验号	A	B	C	褐变度变化值	蛋白质质量比变化值	总糖质量比变化值	综合变化值
1	13	21	200	5.39	9.12	15.70	8.94
2	13	27	400	5.02	6.81	31.51	11.03
3	13	30	1 000	8.07	8.85	21.01	10.97
4	15	21	400	3.00	17.90	27.88	13.94
5	15	27	1 000	7.16	14.92	22.35	13.30
6	15	30	200	5.47	12.63	22.87	11.81
7	17	21	1 000	7.30	16.95	20.88	13.88
8	17	27	200	7.00	14.71	18.78	12.44
9	17	30	400	7.20	9.59	18.50	10.42
k_1	10.31	12.25	11.06				
k_2	13.02	12.26	11.80				
k_3	12.25	11.07	12.72				
R	2.71	1.19	1.66				

注:综合变化值表示新鲜草菇采后 5 d 的品质变化幅度。

2.3 复合保鲜工艺效果比较

通过正交试验优化后的复合保鲜工艺与传统

常规单一保鲜工艺的保鲜效果进行比较,结果如图 4 所示。

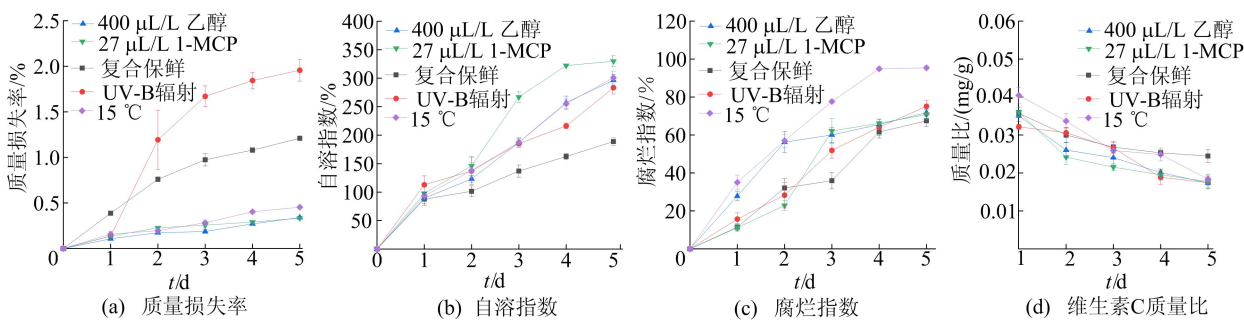


图 4 复合保鲜和传统单一保鲜工艺对草菇采后品质的影响

由图 4a 可知,复合保鲜工艺处理组前期质量损失率增长速度较快,后期对草菇质量损失的抑制能力高于 UV-B 辐射处理组,低于其他处理组,说明复合保鲜工艺在降低草菇采后质量损失率方面并未表现出比其他化学保鲜工艺更好的保鲜效果。这是由于 UV-B 辐射透过真菌表面,损害真菌细胞,加快了草菇体内有机物的流失。

由图 4b 可知,贮藏到第 5 天,复合保鲜工艺处理组的草菇自溶指数最低,为 191.5%,表现出

最佳的保鲜效果,与传统单一保鲜工艺处理组之间产生了显著性差异($P < 0.05$)。表明复合保鲜工艺对草菇采后自溶的抑制作用明显优于传统单一保鲜工艺,表现出更好的保鲜效果。

由图 4c 可知,从第 3 天开始,复合保鲜工艺处理组的腐烂指数始终低于其他处理组,显示出较好的保鲜效果,说明复合保鲜工艺与传统单一保鲜工艺相比,对于草菇采后腐烂的抑制力更强。

(下转第 547 页)

3.2 讨论

本文使用均交并比和像素精度评价 4 种网络结构对水体的提取结果,见表 2 所列。

表 2 4 种网络结构对水体信息提取精度对比

网络结构	M_{IoU}	$P_A/\%$	测试时间/s
U-Net	78.86	91.02	18
Resunet	83.64	95.24	24
Multiresunet	86.27	96.58	25
PS-Eca-Multiresunet	87.94	97.79	28

由表 2 可知,本文提出的 PS-Eca-Multiresunet 网络结构在均交并比和像素精度 2 个指标上与传统 U-Net 网络结构、引入残差卷积和残差连接的 Resunet 网络和 Multiresunet 网络结构相比都有明显提升。以传统 U-Net 网络结构为基准,只引入残差卷积的 Resunet 网络交并比提升了 4.78,像素精度提升了 4.6%;引入残差连接和残差卷积的 Multiresunet 网络结构交并比提升了 7.41,像素精度提升了 6.1%;本文提出的 PS-Eca-Multiresunet 网络结构均交并比提升了 9.08,像素精度提升了 7.4%。结合上文的结果可以看出,与传统的 U-Net 网络结构相比,本文提出的 PS-Eca-Multiresunet 网络结构对遥感影像中水体和房屋阴影区分效果较好,细小河流水体边缘分割更准确,水体的提取精度更高。本文方法通过 Reslayer 残差卷积模块深化网络结构对大量遥感影像水体深层特征进行挖掘,同时通过 Respath 连接模块减小跳跃连接过程中的语义差距,并通过 PSConv 机制模块和 Eca 机制模块提升网络特征学习能力,使得本文提出的 PS-Eca-Multiresunet 网络结构在面对细节的水体信息时拥有更强的敏感程度,从而实现水体提取精度的提升。

4 种网络结构的水体提取测试所用时间见表 2 所列。由表 2 可知:U-Net 耗时最短,仅用 18 s 即完成测试;Resunet 和 Multiresunet 分别增加了残差卷积和 Respath 连接模块,故而耗时有增加;PS-Eca-Multiresunet 由于在 Multiresunet 基础上又增加了 PSConv 模块和 Eca 机制模块,卷积运算数量最多,网络复杂度最高,因此在 4 种网络结构中耗时最长,但只比耗时最少的 U-Net 多了 10 s,仍具有较高的工业应用价值。

4 结 论

针对当前遥感影像水体信息提取存在的细节水体提取能力较弱、重要特征损失较大的问题,本

文提出了一种新的 PS-Eca-Multiresunet 网络结构。通过利用残差卷积和残差连接提高了传统 U-Net 网络特征挖掘能力,通过引入 PSConv 模块和 Eca 机制模块提高了传统 U-Net 网络特征学习能力。实验结果表明,与利用传统 U-Net 网络进行遥感影像水体信息提取相比,本文提出的利用 PS-Eca-Multiresunet 网络提取方法均交并比提高了 9.08,像素精度提升了 7.4%,因此本文方法可以有效提取细节特征,提升提取精确度,实现了遥感影像水体信息提取的准确性。

[参 考 文 献]

- [1] SINGH A. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data[J]. International Journal of Remote Sensing, 1989, 10(6): 989-1003.
- [2] JOHN R, CHEN D. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change[J]. Progress in Planning, 2004, 61(4): 301-325.
- [3] 何海清, 杜敬, 陈婷, 等. 结合水体指数与卷积神经网络的遥感水体提取[J]. 遥感信息, 2017, 32(5): 82-86.
- [4] 李霄, 李霖, 翁敏, 等. 基于资源三号卫星的洪灾发生后水体提取研究[J]. 测绘地理信息, 2018, 43(3): 115-118.
- [5] 杨骥, 韩留生, 陈水森, 等. 一种基于城市水体指数与分形几何算法的 OLI 遥感影像水体提取方法[J]. 测绘通报, 2018(4): 44-49.
- [6] 张红梅, 王大卫, 高杨, 等. 基于 OLI 数据与决策树法的去山体阴影水体信息提取研究[J]. 测绘工程, 2017, 26(11): 45-48.
- [7] 王碧晴, 王珂, 廖伟逸. 遥感影像分割下的青藏高原湖泊提取[J]. 遥感信息, 2018, 33(1): 117-122.
- [8] HU F. Transferring deep convolutional neural networks for the scene classification of high-resolution remote sensing imagery[J]. Remote Sensing, 2015, 7(11): 14680-14707.
- [9] LONG J, SHELHAMER E, DARRELL T. Fully convolutional networks for semantic segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2015, 39(4): 640-651.
- [10] 梁泽毓, 吴艳兰, 杨辉, 等. 基于密集连接全卷积神经网络的遥感影像水体全自动提取方法[J]. 遥感信息, 2020, 35(4): 68-77.
- [11] BADRINARAYANAN V, KENDALL A, CIPOLLA R. SegNet: a deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2017, 39(12): 2481-2495.
- [12] RONNEBERGER O, FISCHER P, BROX T. U-Net: convolutional networks for biomedical image segmentation [C]//International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention Lecture Notes in Computer Science. [S. l. : s. n.], 2015: 234-241.

(下转第 515 页)