

# 黑水虻生物转化陈皮柑果肉和薇甘菊的研究



郑玉姣<sup>1,2,#</sup>, 蓝梓强<sup>2,3,#</sup>, 李军<sup>2</sup>, 李俊凯<sup>3</sup>, 叶静文<sup>2</sup>, 徐齐云<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> 华南农业大学植物保护学院, 广东广州 510640

<sup>2</sup> 广东省科学院动物研究所, 广东省动物保护与资源利用重点实验室, 广东广州 510260

<sup>3</sup> 长江大学农学院, 湖北荆州 434025

**摘要:** 陈皮柑果肉质差、果核多、易收缩, 食用价值低, 为了解决陈皮柑废弃物资源循环利用最大化, 本研究采用资源昆虫黑水虻来生物转化陈皮柑果肉和入侵植物薇甘菊的综合处理方法。对陈皮柑果肉和薇甘菊的营养素测定结果如下: 陈皮柑果肉粗蛋白质含量为 1.06%, 粗脂肪 2 g/kg, 陈皮柑果肉含水量为 87.45%; 薇甘菊粗蛋白含量为 2.16%, 粗脂肪含量 3g/kg, 粗纤维含量 2.4%, 薇甘菊含水量为 85.17%。通过黑水虻生物转化实验, 研究发现陈皮柑果肉与薇甘菊比例为 1:1 效果好, 黑水虻幼虫增重率最高, 达到了 1485.74%, 转化率达到 13.1%。研究结果表明, 黑水虻生物转化陈皮柑果肉和薇甘菊的效果好, 其最佳配比为 1:1。本研究以期能够更好的生物转化陈皮柑果肉, 使陈皮柑果肉能够高值化利用, 同时, 为薇甘菊的处理带来新的途径。

**关键词:** 黑水虻; 陈皮柑果肉; 薇甘菊; 资源循环利用; 生物转化

**DOI:** [10.57237/j.life.2023.04.005](https://doi.org/10.57237/j.life.2023.04.005)

## Biotransformation of Chenpi Citrus Pulp and *Mikania micrantha* Kunth by *Hermetia illucens* L.

Zheng Yujiao<sup>1,2,#</sup>, Lan Ziqiang<sup>2,3,#</sup>, Li Jun<sup>2</sup>, Li Junkai<sup>3</sup>, Ye Jingwen<sup>2</sup>, Xu Qiyun<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> School of Plant Protection, South China Agricultural University, Guangzhou 510640, China

<sup>2</sup> Guangdong Key Laboratory of Animal Conservation and Resource Utilization, Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510260, China

<sup>3</sup> College of Agricultural, Yangtze University, Jingzhou 434025, China

**Abstract:** This study aimed to solve the resources recycling of Chenpi citrus waste by addressing the poor quality of its pulp, which is characterized by limited flesh, numerous fruit pits, susceptibility to shrinkage, and low edible value. To achieve this goal, a comprehensive treatment approach combining pulp biotransformation with the use of the invasive plant *Mikania micrantha* was employed. The results of nutrient determination for Chenpi citrus pulp and *Mikania micrantha* are as follows:

基金项目: 广东省科学院打造综合产业技术创新中心行动资金项目 (2022GDASZH-2022020402-01);

揭阳市科技计划项目 (DZX100); 2021 年梅州市应用型科技专项 (2021B0203001);

2023 年乡村振兴战略专项—农业科技发展及资源环境保护管理项目 (2023KJ355).

\*通信作者: 徐齐云, xqy@giz.gd.cn

#郑玉姣和蓝梓强是共同一作.

收稿日期: 2023-11-13; 接受日期: 2023-12-06; 在线出版日期: 2023-12-27

<http://www.lifescitech.org>

the crude protein content of Chenpi citrus pulp is 1.06%, the crude fat is 2 g/kg, and the water content is 87.45%; The crude protein content of *Mikania micrantha* is 2.16%, the crude fat content is 3 g/kg, the crude fiber content is 2.4%, and the water content is 85.17%. The experimental results demonstrated that a 1:1 ratio of Chenpi citrus pulp to *Mikania micrantha* yielded the most favorable outcomes. The larvae exhibited the highest weight gain rate, reaching 1485.74%, and a conversion rate of 13.1%. These findings highlight the efficacy of black soldier flies in bioconverting Chenpi citrus pulp and *Mikania micrantha*, with an optimal ratio of 1:1. This study aims to achieve better biological transformation of citrus pulp, enabling high-value utilization of Chenpi citrus pulp, and bringing new avenues for the treatment of *Mikania micrantha*.

**Keywords:** *Hermetia illucens* L.; Chenpi Citrus Pulp; *Mikania micrantha* Kunth; Resources Recycling; Biotransformation

## 1 引言

黑水虻，英文名 Black Soldier Fly (BSF)，拉丁学名 *Hermetia illucens* L.，学名亮斑扁角水虻，是双翅目 Diptera 水虻科 Stratiomyidae 扁角水虻属 *Hermetia* 的一种腐食性昆虫[1]。黑水虻幼虫以动物粪便、腐烂的水果及蔬菜等为食，食性杂、食量大，生活史重叠，抗逆性强，是一种全球广泛分布的资源昆虫，能够有效将畜禽粪便转化为生物质和堆肥，可用作生物柴油，动物饲料和生物肥料[2]。目前，利用黑水虻幼虫对禽畜粪便、餐厨垃圾等有机废弃物进行无害化处理有较多研究[3-10]。

陈皮 *Citri Reticulatae* Pericarpium 为芸香科植物橘 *Citrus reticulata* Blanco 及其栽培变种的干燥成熟果皮，其中来源于茶枝 *Citrus reticulata* ‘Chachi’ 的果皮称为“广陈皮”，为著名的药材，主产于两广地区，以广东新会产的广陈皮（即“新会陈皮”）品质最优[11, 12]。据调查，2022 年，新会柑种植面积 10 万亩，年产新会柑鲜果 12.5 万吨，每年有八成的陈皮柑果肉被浪费。陈皮柑一直以来都是“皮贵肉贱”，陈皮柑果肉质差、果核多、易收缩，食用价值低[13]。废弃的陈皮柑果肉不仅占用空间，而且会滋生细菌、产生腐败的酸臭味；腐烂的柑肉不仅对周边的空气和水会产生较大的污染，破坏原有的土质生态平衡，而且还会滋生果蝇、病菌等，对生态环境和人体健康会产生巨大的威胁[14]。

薇甘菊 *Mikania micrantha* 属菊科 Asteraceae 假泽兰属 *Mikania*，俗称“一分钟一英里”杂草，被国际自然保护联盟(IUCN)列为 100 种最严重的入侵物种之一，是中国首批外来入侵物种[15, 16]。薇甘菊具有缠绕和覆盖其它植物的习性，导致被覆盖乔灌木不能进行光合作用而窒息死亡，素有“植物杀手”之称。薇甘菊原产于南美洲和中美洲，现已广泛传播到亚洲热带地区，成为世界热带、亚热带地区危害最严重的杂草之一。

大约在 1919 年薇甘菊作为杂草在中国香港出现，1984 年在深圳发现，2008 年来已广泛分布在珠江三角洲地区。目前，薇甘菊的防治主要是人工物理防治和化学防治，人工物理防治是将薇甘菊铲除后，晒干焚烧，化学防治是用化学药剂进行喷雾防治，这两种方法均会污染环境，且不能利用薇甘菊所含有的营养物质。

本研究利用黑水虻对陈皮柑果肉和薇甘菊进行综合生物转化，以期能够更好的生物转化陈皮柑果肉，使陈皮柑果肉能够高值化利用，同时，为薇甘菊的处理带来了新的途径。

## 2 材料与方法

### 2.1 材料来源

黑水虻幼虫来自广东省科学院动物研究所昆虫饲养室。将同一天收集的黑水虻卵置于恒温培养箱(T=28℃, RH=70%)条件下孵化，至 7 日龄时作为供试虫。

陈皮柑果肉由广东岭南大健康生态科技集团有限公司提供。

### 2.2 粗蛋白含量测定

粗蛋白质的测定参照 GBT6432-2018 饲料中粗蛋白的测定，分析仪器为全自动凯氏定氮仪。称取试样 2g，置于消化管中，加入 6.4 g 混合催化剂(0.4 g CuSO<sub>4</sub>、6 g K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)，加入 10 mL 硫酸后混匀，使用消化炉进行消解，先调节温度为 280℃ 加热 20 min，待样品碳化后，调节消化炉温度至 450℃，持续到消化管中的液体变成透明的蓝绿色后，继续加热 30 min。冷却后将消化管接入凯氏定氮仪进行蒸馏，蒸馏完成后用 0.1

mol/L 的稀硫酸进行滴定。并做空白对照。

粗蛋白质含量 CP 计算公式如下(1):

$$CP = \frac{(V1 - V0) \times 0.1 \times 0.014 \times 6.25}{m} \times 100\% \quad (1)$$

注: V1、V0 为样液和空白对照耗盐酸量; m 样品质量;  
0.014 为氮的毫摩尔质量, g/mmol; 6.25 为蛋白质系数。

## 2.3 粗脂肪含量测定

脂肪含量测定参照 GB/T6433-2006 饲料中粗脂肪含量的测量方法, 所用仪器主要有索氏提取器、电热恒温鼓风干燥箱。测量前将滤纸烘干至恒重, 称量滤纸的重量。用滤纸折叠成滤纸筒, 将待测试样放入其中, 封口后放入烘箱中进行干燥。将干燥后的试样放入仪器中, 利用水浴加热不断提取样品中的脂肪, 连续提取 12 h 后取出样品进行干燥, 称重。

粗脂肪含量 EE 计算公式如下(2):

$$EE = \frac{m2 - m3}{m2 - m1} \times 100\% \quad (2)$$

注: m1 滤纸包质量; m2 滤纸包加样品质量; m3 滤纸包加抽提后残渣质量。

## 2.4 粗纤维含量测定

粗纤维含量测定参照 GB/T 6434-20225 饲料中粗纤维的含量测定, 采用滤袋法测定, 所用仪器主要有滤袋、干燥箱、马弗炉。称取 1 g 的样品装入已知质量的滤袋中, 封口, 称重。每个样品加入 150 mL 硫酸消煮 30 min, 酸消煮后脱水, 用蒸馏水洗涤滤袋至中性, 再脱水, 然后每个样品加入 150 mL 氢氧化钾消煮 30

min, 再重复洗涤步骤。消煮后用丙酮浸泡除去脂肪, 脱水后干燥 2 h。炭化至无烟后于马弗炉中, 在 500 ℃ 下灼烧 2 h, 取出, 干燥器中冷却至室温, 恒重 (两次相差不超过 2 mg)。

粗纤维含量 CF 计算公式如下(3):

$$CF = \frac{m1 - (m2 - m3 - m4)}{m2} \times 100\% \quad (3)$$

注: m1 样品质量; m2 灰分加坩埚质量; m3 空白灰分质量; m4 坩埚质量。

## 2.5 含水量测定

先充分摇匀酒糟, 称量 90 mm 玻璃培养皿质量 m, 然后取出一定量客家酒糟置于培养皿中, 称量得 M1, 设置烘干温度为 70 ℃, 烘干直至恒定 M2, 实验重复三次。根据公示(4)计算含水量。

$$\text{含水量} = \frac{M1 - M2 - m}{M1 - m} \times 100\% \quad (4)$$

注: m 培养皿质量; M1 培养皿及样品总质量; M2 培养皿及烘干样品总质量。

## 2.6 生物转化研究

实验设 7 个处理 (表 1), 每个处理 3 次重复, 每个重复 100 头 7 日龄大小一致的试虫, 记录其虫重; 陈皮柑果肉、薇甘菊 (打成粉) 各作为一个处理。实验温度 28 ℃, 实验分批次加入饲料 (表 2)。第 8 日后, 将幼虫筛出, 记录幼虫的湿重, 然后幼虫与剩余物料在 80 ℃ 条件下烘 24 h 分别称重。根据实验前后幼虫重量, 计算幼虫增重率; 根据加料前后的干物质量, 计算转化效率。

表 1 陈皮柑果肉与薇甘菊配比

Table 1 The ratio of Chenpi citrus pulp to *Mikania micrantha*

原料 Material	加料量 (g) Feeding amount (g)						
编号 NO.	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
陈皮柑果肉 Chenpi citrus Pulp	500	417	400	250	200	83	0
薇甘菊 <i>Mikania micrantha</i>	0	83	100	250	300	417	500

表 2 实验加料设计

Table 2 Experimental feeding design

时间 Time	第 1 天 Day1	第 2 天 Day2	第 3 天 Day3	第 4 天 Day4	第 5 天 Day5	第 6 天 Day6	第 7 天 Day7
加料 (g) Feeding amount (g)	20	30	50	60	90	100	150

3 结果与分析

对陈皮柑果肉和薇甘菊的营养素进行了测定，结果如下：陈皮柑果肉粗蛋白质含量为 1.06%，粗脂肪 2g/kg，陈皮柑果肉含水量为 87.45%；薇甘菊粗蛋白含量为 2.16%，粗脂肪含量 3 g/kg，粗纤维含量 2.4%，薇甘菊含水量为 85.17%。由此可见，陈皮柑果肉和薇甘菊的干物质中粗蛋白含量较高。

从图 1 可以看出，生物转化 7 天后，A4（陈皮柑果肉与薇甘菊 1:1）处理组黑水虻幼虫增重率最高，达

到了 1485.74%；单独使用陈皮柑果肉处理组，黑水虻幼虫增重率为 571.65%，单独使用薇甘菊处理组，黑水虻幼虫增重率为 712.49%。

从图 2 可以看出，生物转化 7 天后，A4（陈皮柑果肉与薇甘菊 1:1）处理组黑水虻转化效率最高，达到了 13.1%；单独使用陈皮柑果肉处理组，黑水虻转化效率为 7.45%，单独使用薇甘菊处理组，黑水虻转化效率为 8.23%。

综合图 1 和图 2，陈皮柑果肉与薇甘菊 1:1 时，黑水虻生物转化效果最好，幼虫增重率最高。

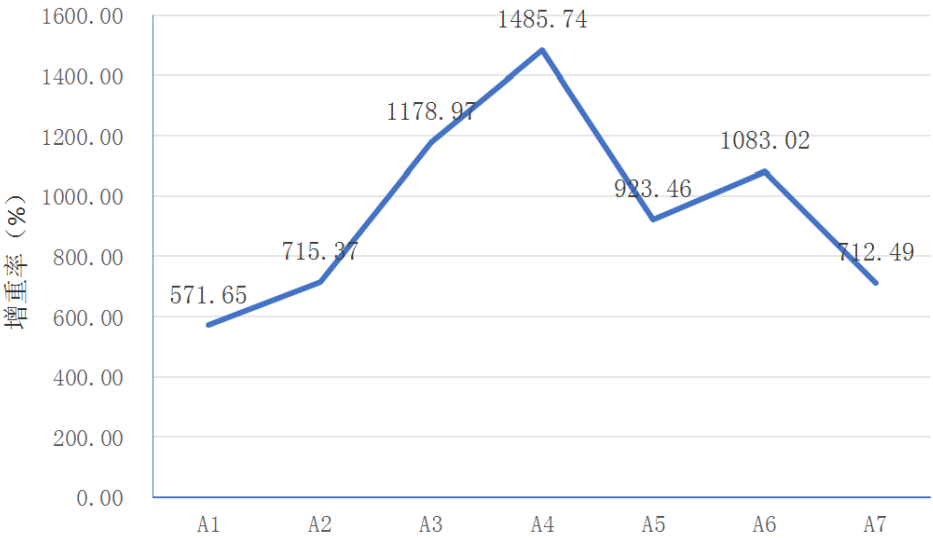


图 1 陈皮柑果肉与薇甘菊不同配比黑水虻幼虫增重率

Figure 1 Weight gain rate of black soldier fly larvae in different ratios of Chenpi citrus pulp to *Mikania micrantha*

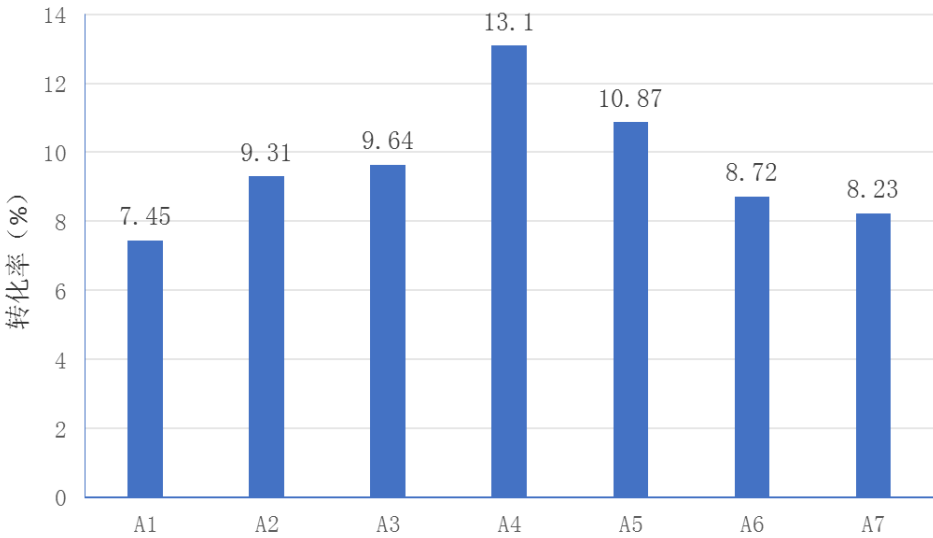


图 2 陈皮柑果肉与薇甘菊不同配比黑水虻转化效率

Figure 2 Conversion efficiency of black soldier fly larvae in different ratios of Chenpi citrus pulp to *Mikania micrantha*



## 4 讨论

黑水虻作为腐食性资源昆虫, 饲养底物的含水率是决定黑水虻生长发育和生物转化效率的关键因素, 在含水率为 30%的底物中绝大部分黑水虻幼虫无法存活, 含水率为 50%与 70%的底物则会延长幼虫到预蛹的时间, 而含水率在 70%~80%时幼虫的生物转化效率最高[17]。喻国辉等[18]研究了不同含水量饲料对黑水虻生长发育的影响, 结果表明, 含水量低于 70%的人工饲料不利于黑水虻的生长发育。本研究中的陈皮柑果肉和薇甘菊含水量均超过 85%、低于 90%, 这个含水量适合黑水虻的生长。

陈皮柑果肉质差、果核多、易收缩, 食用价值低, 在制作陈皮时会产生大量的陈皮柑果肉废弃物[13]。陈亚楠等[19]采用陈皮柑果肉为主要原料, 应用植物乳杆菌 CGMCC8198 发酵制作乳酸菌发酵饮料, 发酵后的饮料外观均一、稳定, 口感酸甜适中, 风味独特, 有陈皮柑独特的清香。本研究是将陈皮柑果肉作为黑水虻的饲料, 生物转化成本低, 获得高价值的黑水虻幼虫。

植物叶蛋白中氨基酸组分齐全, 含量丰富, 配比合理, 具有很好的开发利用前途[20]。植物绿叶中的叶蛋白极为丰富, 一般为 10%~30%, 最高可达 50%以上[21]。叶婉秋等[22]研究表明, 小白鼠食用薇甘菊后身体无不良状况。纪佩吉[21]研究表明, 薇甘菊叶片干物质中粗蛋白含量为 20.14%。本研究中薇甘菊粗蛋白是将茎叶一起测定的, 鲜薇甘菊粗蛋白含量为 2.16%, 但在干物质中粗蛋白含量任然较高。薇甘菊是危害生态的头号“植物杀手”, 迄今仍没有根本性遏制薇甘菊生长的良策。本研究表明, 薇甘菊也可以单独作为黑水虻的饲料, 为薇甘菊的处理带来了新的途径。

## 5 结论

本研究表明, 陈皮柑果肉和薇甘菊含水量适合黑水虻的生长; 陈皮柑果肉和薇甘菊干物质中含有较高的粗蛋白和粗脂肪, 黑水虻能够单独的生物转化陈皮柑果肉和薇甘菊, 但两者混合后效果更好, 其比例为 1:1 时效果最好, 转化效率达到了 13.1%, 这可能是薇甘菊加到陈皮柑果肉中后, 降低了果肉中酸度, 从而提高了转化效率。

本研究表明, 黑水虻能够较好的转化薇甘菊, 为

入侵植物薇甘菊的防治带来了新的途径。

## 参考文献

- [1] 徐齐云, 喻国辉, 安新城. 黑水虻蛹壳中几丁质的提取及壳聚糖制备研究 [J]. 广东农业科学, 2012, 39(05): 87-88+102.
- [2] 覃成婕, 胡斌, 叶灿权, 朱剑锋, 李雪玲, 田铃, 黄志君, 胡文锋. 黑水虻武汉株×Bioforte 株杂交后代生长性能研究 [J]. 广东农业科学, 2023, 50(06): 137-143.
- [3] 彭超, 张桂健, 漆学伟, 蔡文滔, 牛长纓. 黑水虻对小龙虾废弃物转化效果研究 [J/OL]. 环境昆虫学报: 1-12 [2023-11-07].
- [4] 齐淑新, 温晓蕾, 吉庭锋, 司增志, 赵春明, 乔亚科, 王艳敏, 蔡爱军, 张海华, 吉志新. 狐貉粪对黑水虻生长发育的影响 [J]. 中国农业科技导报, 2022: 1-6.
- [5] REHMAN K U, HOLLAH C, WIESOTZKI K, REHMAN R U, REHMAN A U, ZHANG J, ZHANG L, NIENABER T, HEINZ V, AGANOVIC K. Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review [J]. Waste Management & Research, 2023, 41(1): 81-97.
- [6] MA J J, JIANG C L, TAO X H, SHENG J L, SUN X Z, ZHANG T Z, ZHANG T J. Insights on dissolved organic matter and bacterial community succession during secondary composting in residue after black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) bioconversion for food waste treatment [J]. Waste Management, 2022, 142: 55-64.
- [7] FARDILLA N A, IRFANA A K, EZLIN N B A, FATIHAH S, AIN N J A, ASYIQIN N A. A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*) [J]. Sustainability, 2022, 14(8): 4565.
- [8] GUO H W, JIANG C L, ZHANG Z J, LU W J, WANG H T. Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.) [J]. Science of the Total Environment, 2021, 750: 1-10.
- [9] WANG Q, REN X N, SUN Y, ZHAO J, AWASTHI M K, LIU T, LI R, ZHANG Z. Improvement of the composition and humification of different animal manures by black soldier fly bioconversion [J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 278: 1-7.
- [10] ZHANG J B, TOMBERLIN J K, CAI M M, XIAO X P, ZHENG L Y, YU Z N. Research and industrialization of *Hermetia illucens* L. in China [J]. Journal of Insects as food and feed, 2020, 6(1): 5-12.

- [11] 秦睿, 杨胜琳, 梁社坚. 优质陈皮在新会 [J]. 生命世界, 2016(10): 4-5.
- [12] 陈明权, 商雪莹, 石洪超, 李华, 孙东, 覃仁安, 何风雷, 黄志敏. 基于 SPME-GC-MS 技术快速鉴别不同产地的陈皮 [J]. 广州中医药大学学报, 2023, 40(06): 1498-1502.
- [13] 吴硕, 邹璇, 王明亚, 张庆. 陈皮柑汁对柱花草和水稻秸秆青贮品质的影响 [J]. 草地学报, 2021, 29(07): 1565-1570.
- [14] 陈娴, 李辰, 容启仁, 潘艳婷, 许雪映. 新会陈皮及其副产物的研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2017, 45(06): 65-67.
- [15] LOWE S, BROWNE M, BOUDJELAS S, DE P M. 100 of the world's worst invasive alien species: A selection from the global invasive species database [M]. Auckland: Invasive Species Specialist Group, 2000.
- [16] 中国第一批外来入侵物种名单 [R]. 中华人民共和国国务院公报, 2003(23): 41-46.
- [17] 陈逢浩, 郑玉姣, ASEM Elabasy, 李军, 李志刚, 徐齐云. 亮斑扁角水虻对有机废弃物的应用及其肠道微生物研究进展 [J]. 环境昆虫学报, 2023, 45(03): 639-650.
- [18] 喻国辉, 李一平, 杨玉环, 夏婧. 低含水量饲料对黑水虻生长发育的影响 [J]. 昆虫学报, 2014, 57(08): 943-950.
- [19] 陈亚楠, 汪云阳, 王德行, 丁钦然, 谭顺冬, 罗学刚. 植物乳杆菌发酵陈皮柑饮料的工艺优化与分析 [J]. 饮料工业, 2019, 22(05): 28-34.
- [20] 宋葆华, 李法曾, 贺新强, 倪陈凯. 30 种植物叶蛋白中氨基酸组成及含量的测定与营养价值评价 [J]. 植物资源与环境学报, 2000(01): 59-60.
- [21] 纪佩吉, 卓海燕, 翁晓敏, 谢文杰. 粤东地区重要外来有害植物叶蛋白含量的研究 [J]. 中国野生植物资源, 2005(06): 48-50.
- [22] 叶婉秋, 蒋倩云, 姚强强. 入侵植物薇甘菊的可食性分析 [J]. 现代食品, 2020(24): 191-193+197.

## 作者简介

### 郑玉姣

1994 年生, 在读硕士研究生, 研究方向为资源利用与植物保护.

E-mail: 1395257813@qq.com

### 蓝梓强

1999 年生, 在读硕士研究生. 研究方向为资源利用与植物保护.

E-mail: 1553594551@qq.com