



Effect of Microwave-Assisted, Ultrasonic-Assisted, and Conventional Water Extraction on Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Black Ginger (*Kaempferia parviflora*)

Somsay PHOVISAY^{1*}, Chanda PHONEMANY¹, Vongpasith CHANTHAKHOUN¹, Khantavan PHOMLASABOUD¹, Thiphakone THAVONESACK¹ and Mith SAYVANDY¹

Faculty of Agriculture and Forest Resource, Souphanouvong University, Luang Prabang, Lao PDR

Abstract

*Correspondence:

Somsay PHOVISAY, Faculty of
Agriculture and Forest Resource,
Souphanouvong University,
E-mail: somsaypho@su.edu.la
Tel: 020 58295559

Article Info:

Submitted: June 02, 2026

Revised: June 15, 2026

Accepted: June 19, 2026

Black ginger (*Kaempferia parviflora*) is a valuable medicinal plant containing bioactive compounds. This study investigated the effects of different extraction methods on the yield of bioactive compounds and antioxidant activity from black ginger rhizomes. The dried samples were extracted using 3 different methods with water as solvent (1:20 w/v) for 5 minutes: microwave-assisted extraction (MAE), conventional boiling extraction, and ultrasonic-assisted extraction (UAE). Total phenolic content, total tannin content, total flavonoid content, antioxidant activity (DPPH inhibition), color parameters (L^* , a^* , b^*), and optical density (OD₆₀₀) were analyzed for each extraction method.

The results indicated statistically significant differences among the extraction techniques ($p < 0.05$). MAE demonstrated superior performance with the highest total phenolic content (19.68 mg GAE/g), total tannin content (11.42 mg TAE/g), total flavonoid content (6.66 mg QE/g), antioxidant activity (31.51% DPPH inhibition), and optical density (1.10), indicating the highest concentration of extracted compounds. MAE showed darkest color ($L^* = 2.30$, $a^* = 12.33$, $b^* = 1.27$). Conventional boiling extraction showed moderate efficiency with total phenolic content of 17.01 mg GAE/g, total tannin content of 9.65 mg TAE/g, total flavonoid content of 4.25 mg QE/g, 26.08% DPPH inhibition, intermediate optical density (0.70), and color values of $L^* = 4.87$, $a^* = 25.33$, $b^* = 5.77$. UAE exhibited the lowest extraction efficiency across all parameters, yielding total phenolic content of 10.95 mg GAE/g, total tannin content of 6.34 mg TAE/g, total flavonoid content of 2.30 mg QE/g, 21.27% DPPH inhibition, lowest optical density (0.34), and lightest color ($L^* = 25.67$, $a^* = 24.67$, $b^* = 7.97$). The findings indicate that MAE is the most effective method for maximizing bioactive compound recovery and antioxidant activity from black ginger, offering potential applications in functional food and supplement industries.

Keywords: Black ginger; Extraction methods; Bioactive compounds

1. Introduction

Black ginger (*Kaempferia parviflora*) ທີ່ຮູ້ຈັກກັນທົ່ວໄປໃນຊື່ຂົງດຳ ແມ່ນພືດສະໝຸນໄມ້ທີ່ມີຄຸນຄ່າສູງ ເຊິ່ງຈັດຢູ່ໃນວົງຂົງ (*Zingiberaceae*) ເປັນພືດສະໝຸນໄມ້ພື້ນເມືອງຂອງລາວ ແລະ ພາກພື້ນອາຊີຕາເວັນອອກສຽງໃຕ້ (Chen et al., 2018). ເປັນເວລາຫຼາຍສະຕະວັດມາແລ້ວທີ່ເຫຼົ່າສີມ່ວງເຂັ້ມຂອງພືດຊະນິດນີ້ ໄດ້ຖືກນຳໃຊ້ຢ່າງກວ້າງຂວາງໃນຢາພື້ນເມືອງ ເພື່ອປິ່ນປົວພະຍາດຕ່າງໆ ລວມເຖິງຄວາມຜິດປົກກະຕິຂອງລະບົບທາງເດີນອາຫານ, ການອັກເສບ ແລະ

ກຸ່ມອາການຜິດປົກກະຕິຂອງລະບົບເສົາຜານ (Saokaew et al., 2017). ປະສິດທິພາບທາງການຢາຂອງຂົງດຳ ສ່ວນໃຫຍ່ແມ່ນມາຈາກການເປັນແຫຼ່ງລວມຂອງສານອອກລົດທາງຊີວະພາບ (secondary metabolites) ໂດຍສະເພາະກຸ່ມສານຟີໂນລິກ, ແທນນິນ ແລະ ກຸ່ມຢອຍຂອງຝລາໂວນອຍທີ່ມີການເຮັດໜ້າທີ່ເປັນສ່ວນສຳຄັນສະເພາະຕົວທີ່ຮູ້ຈັກກັນໃນຊື່ ໄຟລີເມທອກຊີຝລາໂວນ (polymethoxyflavones; PMFs) (Sutthanut et al., 2007). ສານເຫຼົ່ານີ້ເປັນທີ່ຮັບຮູ້ ແລະ ຍອມຮັບຢ່າງກວ້າງຂວາງເຖິງຄວາມສາມາດໃນການກຳຈັດອະນຸມຸນ

ອິດສະຫຼະ ແລະ ລົດການຕ້ານອະນຸມຸນອິດສະຫຼະທີ່ມີປະສິດທິພາບສູງ ເຮັດໃຫ້ຂົງຄໍາກາຍເປັນສ່ວນປະກອບທີ່ໄດ້ຮັບຄວາມນິຍົມຢ່າງ ຫຼວງຫຼາຍໃນອຸດສາຫະກຳອາຫານເພື່ອສຸຂະພາບ (functional food), ເຄື່ອງສໍາອາງ ແລະ ໂພຊະນາການທາງຢາ (Wattanathorn et al., 2023).

ການສະກັດສານອອກລົດທາງຊີວະພາບທີ່ຕ້ອງການ ອອກຈາກ ໂຄງສ້າງທາງພຶດສາດທີ່ໜ້າແໜ້ນຂອງເຫຼົ້າຂົງຄໍາ ຖືເປັນສິ່ງທ້າທາຍ ພື້ນຖານໃນຂັ້ນຕອນການປະຕິບັດງານ. ໃນອະດີດທີ່ຜ່ານມາວິທີການ ສະກັດດ້ວຍນໍ້າແບບດັ້ງເດີມ (Conventional Water Extraction; CWE), ເຊັ່ນ: ການແຊ່ເປັນເວລາດົນ ແລະ ການຕົ້ມສະກັດດ້ວຍ ຄວາມຮ້ອນ, ຖືເປັນວິທີການປະຕິບັດມາດຕະຖານ (Ab Rahman et al., 2018). ເຖິງແມ່ນວ່ານໍ້າຈະເປັນທີ່ນິຍົມໃຊ້ຢ່າງເປັນສາກົນໃນ ຖານະຕົວທໍາລະລາຍທີ່ເປັນມິດຕໍ່ສິ່ງແວດລ້ອມທີ່ດີທີ່ສຸດ ເນື່ອງຈາກບໍ່ ມີສານພິດ, ລາຄາຖືກ ແລະ ເປັນມິດກັບສິ່ງແວດລ້ອມ, ແຕ່ CWE ກັບມີປະສິດທິພາບທາງອັດຕາການເກີດປະຕິກິລິຍາ (kinetics) ທີ່ຕໍ່າ (Mungwari et al., 2025). ການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມອາໄສການນໍາ ຄວາມຮ້ອນທີ່ຊໍ້າ ແລະ ການແຜ່ກະຈາຍແບບອິດສະຫຼະ ເຊິ່ງມັກຈະຕ້ອງ ໃຊ້ເວລາໃນການປຸງແຕ່ງດົນ ສິ່ງຜົນໃຫ້ອາດເກີດການເສື່ອມສະຫຼາຍ ດ້ວຍຄວາມຮ້ອນຂອງສານຕ້ານອະນຸມຸນອິດສະຫຼະທີ່ອ່ອນໄຫວຕໍ່ ອຸນຫະພູມ (Ab Rahman et al., 2018). ເພື່ອຫຼີກລ່ຽງຂໍ້ຈຳກັດທາງ ອຸນຫະພູມລະສາດ (thermodynamics) ເຫຼົ່ານີ້ ແລະ ໃຫ້ສອດຄ່ອງ ກັບຫຼັກການເຄມີສີຂຽວ (green chemistry), ເຕັກໂນໂລຊີການ ສະກັດແບບໃໝ່ເຊັ່ນ: ການສະກັດດ້ວຍໄມໂຄຣເວບ (MAE) ແລະ ການສະກັດດ້ວຍຄຸ້ນສຽງຄວາມຖີ່ສູງ (UAE) ຈຶ່ງໄດ້ກາຍມາເປັນທາງ ເລືອກທີ່ມີປະສິດທິພາບ (Mungwari et al., 2025). UAE ໃຊ້ຄຸ້ນ ສຽງຄວາມຖີ່ສູງເພື່ອກະຕຸ້ນໃຫ້ເກີດປະກົດການຄາວິເທຊັນ (cavitation), ສ້າງການແຕກຕົວລະດັບຈຸນລະພາກ (micro-implosions) ແລະ ແຮງຕັດ (shear forces) ສະເພາະຈຸດ ເຊິ່ງຈະ ທໍາລາຍຜະໜັງຈຸລັງພຶດທີ່ແຂງກະດ້າງດ້ວຍກົນຈັກ ແລະ ເລັ່ງການຊຶມ ຜ່ານຂອງຕົວທໍາລະລາຍ (Chemat et al., 2017). ໃນທາງ ກົງກັນຂ້າມ MAE ໃຊ້ລັງສີແມ່ເຫຼັກໄຟຟ້າເພື່ອກະຕຸ້ນການໝູນຂອງ ໄດໂປລ (dipole rotation) ແລະ ການນໍາໄຟຟ້າຂອງອີອົງ (ionic conduction) ຢ່າງໄວວາ ພາຍໃນຕົວທໍາລະລາຍທີ່ເປັນນໍ້າ ແລະ ຄວາມຊຸ່ມພາຍໃນຈຸລັງຂອງພຶດ (Nisoa et al., 2023). ສິ່ງນີ້ເຮັດໃຫ້ ເກີດຄວາມຮ້ອນທາງບໍລິມາດໃນທັນທີທັນໃດ ແລະ ເກີດແຮງດັນ ອາຍນໍ້າພາຍໃນຢ່າງມະຫາສານ, ເຊິ່ງກໍ່ໃຫ້ເກີດການແຕກອອກຂອງຈຸ ລັງຢ່າງຮຸນແຮງ ແລະ ຊ່ວຍໃຫ້ອັດຕາການຖ່າຍເທມວນສານ ເກີດຂຶ້ນ ຢ່າງວ່ອງໄວໃນເວລາທີ່ສັ້ນກວ່າ (Nisoa et al., 2023).

ເຖິງແມ່ນວ່າການສຶກສາທີ່ຜ່ານມາຈະໄດ້ມີການຊອກຫາ ສະພາວະທີ່ເໝາະສົມສໍາລັບ UAE ແລະ MAE ແຍກກັນຢ່າງ ອິດສະຫຼະ ເຊິ່ງມັກຈະໃຊ້ຕົວທໍາລະລາຍອິດສະຫຼະ (organic solvents) ຫຼື ໃຊ້ເວລາສະກັດທີ່ຍາວນານ (Krongrawa et al., 2022) ແຕ່ຍັງມີ ຄວາມຈຳເປັນຢ່າງຍິ່ງທີ່ຈະຕ້ອງປະເມີນປຽບທຽບປະສິດທິພາບຂອງ ເຕັກນິກເຫຼົ່ານີ້ ພາຍໃຕ້ເງື່ອນໄຂທີ່ກໍານົດ. ເຖິງແມ່ນວ່າວິທີ MAE, UAE ແລະ ການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມ ຈະອາໄສກົນໄກການສະກັດທີ່ແຕກ

ຕ່າງກັນ ແຕ່ການສຶກສາປຽບທຽບປະສິດທິພາບຂອງທັງ 3 ເຕັກນິກນີ້ ໂດຍກົງ ແມ່ນຍັງມີຈຳກັດ ເຊິ່ງຖືເປັນຂໍ້ມູນທີ່ຈຳເປັນສໍາລັບການນໍາໄປ ປະຍຸກໃຊ້ໃນລະດັບອຸດສາຫະກຳ ການວິໄຈນີ້ຈຶ່ງມີຄວາມສໍາຄັນຢ່າງຍິ່ງ ໃນການພັດທະນາແນວທາງການສະກັດທີ່ໃຫ້ຜົນຜະລິດສູງ, ປະຢັດ ຜະລັງງານ ແລະ ເປັນມິດກັບສິ່ງແວດລ້ອມ. ດັ່ງນັ້ນ, ການສຶກສານີ້ຈຶ່ງ ມຸ່ງເນັ້ນຄົ້ນຄວ້າຜົນຂອງ MAE, UAE ແລະ ການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມ ຕໍ່ ກັບປະລິມານສານຝິໂນລິກທັງໝົດ, ແທນນິນທັງໝົດ, ຝລາໂວນອຍ ທັງໝົດ, ຄໍາຄວາມທົບແສງ, ຄໍາສີ ແລະ ລົດການຕ້ານອະນຸມຸນ ອິດສະຫຼະ.

2. ອຸປະກອນ ແລະ ວິທີການ

2.1. ວັດຖຸດິບ ແລະ ການຕຽມຕົວຢ່າງ

ຂົງຄໍາສີດ (*Kaempferia parviflora*) ທີ່ນໍາໃຊ້ໃນການສຶກ ສານີ້ ແມ່ນເກັບກໍາມາຈາກ ເມືອງພູຄູນ ແຂວງຫຼວງພະບາງ. ຕົວຢ່າງ ສິດໄດ້ຖືກນໍາມາລ້າງທໍາຄວາມສະອາດຢ່າງລະອຽດເພື່ອກໍາຈັດສິ່ງເຈືອ ປົນ ແລະ ຝຸ່ນດິນ. ຈາກນັ້ນນໍາໄປຊອຍເປັນແຜ່ນບາງ 1.0-1.5 mm, ນໍາໄປອົບແຫ້ງດ້ວຍຕູ້ອົບລົມຮ້ອນ (Intbuying, International Ltd, Shanghai, China) ທີ່ອຸນຫະພູມ 60°C ເປັນເວລາ 8 ຊົ່ວໂມງ. ຫຼັງ ຈາກອົບແຫ້ງສິມບຸນແລ້ວ, ຕົວຢ່າງໄດ້ຖືກນໍາມາບິດໃຫ້ເປັນຜິງລະອຽດ ດ້ວຍເຄື່ອງປັ່ນໝາກໄມ້ (OTTO BE-1 27 A, Bangkok, Thailand) ເພື່ອເປັນການເພີ່ມພື້ນທີ່ພາສາຜັດໃຫ້ຫຼາຍທີ່ ສຸດສໍາລັບຂັ້ນຕອນການສະກັດແບບແຂງ-ແຫຼວ (solid-liquid extraction).

2.2. ຂັ້ນຕອນການສະກັດ

ການສະກັດທັງໝົດແມ່ນດໍາເນີນການໂດຍໃຊ້ນໍ້າເປັນຕົວທໍາ ລະລາຍພຽງຊະນິດດຽວ ໃນອັດຕາສ່ວນຂອງແຂງຕໍ່ຕົວທໍາລະລາຍ (solid-to-solvent ratio) ຄົງທີ່ ທີ່ 1:20 (w/v). ເວລາໃນການ ສະກັດສໍາລັບທຸກວິທີແມ່ນຄວບຄຸມຢ່າງເຂັ້ມງວດທີ່ 5 ນາທີ ເພື່ອປະ ເມີນປຽບທຽບປະສິດທິພາບການສະກັດ (ຮູບທີ 1).

ການສະກັດ MAE ຕົວຢ່າງຂົງຄໍາທີ່ກຽມໄວ້ໄດ້ຖືກນໍາມາ ຊຶ່ງນໍ້າໜັກ ແລະ ໃສ່ລົງໃນຫຼອດທົດລອງ ຈາກນັ້ນ ຕົ້ມນໍ້າຮ້ອນທີ່ ອຸນຫະພູມສູງກວ່າ 85 °C ລົງໄປຈົນຖ້ວມຕົວຢ່າງທັງໝົດ ນໍາເອົາ ສ່ວນປະສົມດັ່ງກ່າວໄປວາງໃນເຄື່ອງສະກັດດ້ວຍໄມໂຄຣເວບ (R-200W, Sharp, Bangkok, Thailand) ໂດຍຕັ້ງຄ່າກໍາລັງໄຟ ໄວ້ທີ່ 260 W ເປັນເວລາ 5 ນາທີ. ຫຼັງຈາກການສະກັດນໍາຕົວຢ່າງອອກມາ ປະໄວ້ໃຫ້ເຢັນລົງຈົນຮອດອຸນຫະພູມຫ້ອງ ນໍາມາຕອງເພື່ອແຍກນໍ້າ ສະກັດ ແລະ ແຜ່ນຂົງອອກແລ້ວນໍາໄປວິເຄາະໃນຂັ້ນຕອນຕໍ່ໄປ.

ການສະກັດດ້ວຍຄຸ້ນສຽງຄວາມຖີ່ສູງ UAE ຕົວຢ່າງຂົງຄໍາ ແຫ່ງທີ່ບິດກຽມໄວ້ ໄດ້ຖືກນໍາມາຊຶ່ງນໍ້າໜັກ ແລະ ໃສ່ລົງໃນຫຼອດທົດ ລອງ. ຕົ້ມນໍ້າລົງໄປຈົນຖ້ວມຕົວຢ່າງທັງໝົດ ນໍາເອົາສ່ວນປະສົມໄປວາງ ໃນເຄື່ອງຄຸ້ນສຽງຄວາມຖີ່ສູງແບບອ່າງ (Ultrasonic cleaner, Lianju, Hebei, China) ເພື່ອໃຫ້ເກີດປະກົດການຄາວິເທຊັນ ຂອງຄຸ້ນສຽງທີ່ຄວາມຖີ່ 40 kHz ແລະ ກໍາລັງໄຟ 180 W ເປັນເວລາ 5 ນາທີ. ຈາກນັ້ນນໍາຕົວຢ່າງທີ່ສະກັດແລ້ວອອກມາປະໄວ້ໃຫ້ເຢັນ ເພື່ອ ວິເຄາະໃນຂັ້ນຕອນຕໍ່ໄປ.

ການສະກັດດ້ວຍການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມ ຕິດຕັ້ງຊຸດອຸປະກອນ

ໃຫ້ຄວາມຮ້ອນ, ຈາກນັ້ນນຳເອົາຕົວຢ່າງຂົງດຳທີ່ຊຸ່ງນ້ຳໜັກແລ້ວໃສ່ລົງໃນພາຊະນະ ຕື່ມນ້ຳຮ້ອນລົງໄປ ແລະ ນຳສ່ວນປະສົມດັ່ງກ່າວໄປຕື່ມສະກັດດ້ວຍຄວາມຮ້ອນຢ່າງຕໍ່ເນື່ອງ ພ້ອມທັງປັ່ນກວນດ້ວຍແທງແມ່ເຫຼັກ (magnetic stirring) ຕະຫຼອດເວລາ ເປັນໄລຍະເວລາ 5 ນາທີ ຈາກນັ້ນ, ນຳຕົວຢ່າງອອກມາປະໄວ້ໃຫ້ເຢັນ ຕອງເພື່ອເກັບນ້ຳຂົງດຳສະກັດສຳລັບການວິເຄາະຕໍ່ໄປ.

2.3. ການວິເຄາະສານອອກລົດທາງຊີວະພາບສານສະກັດຂົງດຳ

2.3.1. ການທົດສອບລົດການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະ

ລົດການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະໄດ້ຖືກນຳມາວິເຄາະຕາມວິທີການທົດສອບລົດການກຳຈັດອະນຸມູນອິດສະຫຼະ ໂດຍອີງໃສ່ປະຕິກິລິຍາກັບສານມາດຕະຖານ 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH). ຂັ້ນຕອນການວິເຄາະແມ່ນໄດ້ດັດແປງມາຈາກວິທີການຂອງ Braca et al. (2003). ຂັ້ນຕອນໂດຍຫຍໍ້ນຳຕົວຢ່າງ 1 mL ທີ່ຜ່ານການເຈືອຈາງໃນລະດັບທີ່ເໝາະສົມ (10x dilution) ມາປະສົມກັບສານລະລາຍ DPPH 4 mL (DPPH ຄວາມເຂັ້ມຊັ້ນ 0.15 mM) ຈາກນັ້ນນຳໄປບິ່ມໄວ້ທີ່ອຸນຫະພູມຫ້ອງໃນປອນມືດ ເປັນເວລາ 30 ນາທີ. ວັດແທກຄ່າການດູດກົນແສງທີ່ຄວາມຍາວຄື້ນ 517 nm. ລົດການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະຈະຖືກລາຍງານເປັນເປີເຊັນການຍື່ມຍັ້ງ (percentage of inhibition) ຂອງນ້ຳສະກັດ ຕາມສູດດັ່ງຕໍ່ໄປນີ້:

$$\text{Inhibition}(\%) = \left(\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{control}}} \right) \times 100$$

ໂດຍທີ່ A_{control} ແມ່ນຄ່າການດູດກົນແສງຂອງສານລະລາຍ DPPH ທີ່ບໍ່ມີຕົວຢ່າງປະສົມຢູ່ (ຊຸດຄວບຄຸມ)

A_{sample} ແມ່ນຄ່າການດູດກົນແສງຂອງຕົວຢ່າງທີ່ປະສົມກັບສານລະລາຍ DPPH.

2.3.2. ການທົດສອບປະລິມານຝລາໂວນອຍທັງໝົດ

ການວິເຄາະປະລິມານຝລາໂວນອຍທັງໝົດ ໄດ້ໃຊ້ວິທີການວິເຄາະຕາມແບບ ທີ່ອະທິບາຍໂດຍ Eom et al. (2008) ແລະ Phovisay et al. (2024a) ເຊິ່ງໄດ້ມີການດັດແປງໃຫ້ເໝາະສົມກັບສະພາບຕົວຈິງ. ວິທີການເລີ່ມຈາກດູດເອົານ້ຳສະກັດຕົວຢ່າງ 0.5 mL (ຄວາມເຂັ້ມຊັ້ນ 1 mg/mL) ມາປະສົມກັບອາລູມິນຽມໄນເຕຣດ (aluminum nitrate) 10% (w/v) ປະລິມານ 0.1 mL ແລະ ໄພແທສຊຽມອາເຊຕາດ (potassium acetate) 1 M ປະລິມານ 0.1 mL. ຈາກນັ້ນ, ຕື່ມເມທານອນ 70% ປະລິມານປະມານ 3.3 mL. ປະສົມໃຫ້ເຂົ້າກັນດີ ແລ້ວນຳໄປບິ່ມໄວ້ທີ່ອຸນຫະພູມຫ້ອງປະມານ 30 ນາທີ ກ່ອນທີ່ຈະວັດຄ່າການດູດກົນແສງທີ່ 415 nm ດ້ວຍເຄື່ອງວິເຄາະ Synergy HT (BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA), ໂດຍໃຊ້ນ້ຳກັ່ນບໍລິສຸດເປັນຕົວທຽບຖານ (blank). ປະລິມານຝລາໂວນອຍທັງໝົດຈະຖືກສະແດງຜິດທຽບກັບຄ່າມາດຕະຖານຂອງສານເຄືຊີຕິນ (QE).

2.3.3. ການທົດສອບປະລິມານໄຟລີຟິນອລທັງໝົດ

ປະລິມານໄຟລີຟິນອລທັງໝົດໄດ້ທຳການວິເຄາະຕາມວິທີ

Folin-Ciocalteu ຕາມວິທີການຂອງ Eom et al. (2008) ແລະ Phovisay et al. (2024b) ໂດຍການດູດເອົານ້ຳສະກັດຕົວຢ່າງ 200 μL ໃສ່ລົງໃນຫຼອດທົດລອງທີ່ມີສານທົດສອບໄຟລິນ (Folin reagent) 2 M ປະລິມານ 200 μL . ຈາກນັ້ນ, ຕື່ມນ້ຳກັ່ນ 1.8 mL ແລະ ປະສົມປະສົມໄວ້ 3 ນາທີ ເພື່ອໃຫ້ເກີດປະຕິກິລິຍາ. ຈາກນັ້ນນຳໄປປັ່ນປະສົມດ້ວຍເຄື່ອງ vortex, ຕື່ມໂຊດຽມຄາບອນາດ (sodium carbonate) 10% (w/v) ປະລິມານ 400 μL ປະສົມລົງໃນຫຼອດທົດລອງ ແລະ ປັບບໍລິມາດລວມໃຫ້ເປັນ 4 mL ດ້ວຍນ້ຳກັ່ນ. ຫຼອດປະຕິກິລິຍາທັງໝົດຈະຖືກບິ່ມໄວ້ທີ່ອຸນຫະພູມຫ້ອງເປັນເວລາ 1 ຊົ່ວໂມງ ແລະ ນຳໄປວັດແທກຄ່າການດູດກົນແສງທີ່ 750 nm ໂດຍໃຊ້ເຄື່ອງ Synergy HT (BioTek Instruments, Inc., Winooski, VT, USA). ຜົນທີ່ໄດ້ຈະຖືກນຳໄປປຽບທຽບກັບເສັ້ນສະແດງມາດຕະຖານຂອງ Gallic (standard gallic acid curve; 10-50 mg/g) ແລະ ສະແດງທຽບກັບຄ່າມາດຕະຖານຂອງ Gallic acid (GAE).

2.3.4. ການທົດສອບປະລິມານແທນນິນທັງໝົດ

ປະລິມານແທນນິນທັງໝົດໄດ້ຖືກນຳມາວິເຄາະໂດຍໃຊ້ວິທີ Folin-Denis ທີ່ຖືກດັດແປງ ຕາມວິທີການຂອງ Padma et al. (2013) ແລະ Khounvilay et al., (2023). ວິທີການໂດຍຫຍໍ້ ເລີ່ມຈາກການດູດເອົານ້ຳສະກັດຕົວຢ່າງ 250 μL ໃສ່ລົງໃນຫຼອດປະຕິກິລິຍາ, ຕາມດ້ວຍການຕື່ມນ້ຳກັ່ນ 1625 μL , ທາດທົດສອບໄຟລິນ (Folin reagent) 2 M ປະລິມານ 125 μL ແລະ ໂຊດຽມຄາບອນາດ (sodium carbonate) 10% (w/v) ປະລິມານ 250 μL . ຫຼັງຈາກນັ້ນ, ຕື່ມນ້ຳກັ່ນລົງໄປຕື່ມອີກ 250 μL ແລ້ວນຳໄປວັດແທກຄ່າການດູດກົນແສງທີ່ຄວາມຍາວຄື້ນ 750 nm. ຜົນທີ່ໄດ້ຈະຖືກນຳໄປປຽບທຽບກັບເສັ້ນໂຄ້ງມາດຕະຖານຂອງກົດແທນນິກ (Tannic acid standard curve; 10-50 mg/g) ແລະ ສະແດງຜິດທຽບກັບຄ່າມາດຕະຖານຂອງ Tannic acid (TAE).

2.4. ການທົດສອບຄ່າຄວາມທົບແສງ ແລະ ຄ່າສີ

ການປະເມີນຄຸນລັກສະນະທາງກາຍະພາບທີ່ບົ່ງບອກເຖິງຄວາມເຂັ້ມຊັ້ນ ແລະ ປະສິດທິພາບຂອງການສະກັດ, ນ້ຳສະກັດຕົວຢ່າງໄດ້ຖືກນຳມາວິເຄາະຄ່າຄວາມທົບແສງ ແລະ ຄ່າສີ ຕາມວິທີກຳນົດດັ່ງນີ້:

2.4.1. ການວັດແທກຄ່າຄວາມທົບແສງ (OD_{600})

ຄ່າຄວາມທົບແສງຂອງນ້ຳສະກັດ ໄດ້ຖືກວັດແທກເພື່ອກວດສອບລະດັບຄວາມເຂັ້ມຊັ້ນລວມຂອງສານທີ່ລະລາຍຢູ່ ໂດຍນຳໃຊ້ເຄື່ອງ UV/Vis spectrophotometer (BK-D2600 Biobase Biodustry, Shandong Co., Ltd., Shandong, China). ນ້ຳສະກັດແຕ່ລະຕົວຢ່າງໄດ້ຖືກປັ່ນຈຸລົງໃນຫຼອດວັດແທກ (Cuvette) ມາດຕະຖານທີ່ມີຄວາມໜາ 1 cm ແລະ ນຳໄປວັດແທກຄ່າການດູດກົນແສງທີ່ຄວາມຍາວຄື້ນ 600 nm. ໃນການທົດສອບນີ້ໄດ້ນຳໃຊ້ນ້ຳກັ່ນບໍລິສຸດເປັນຕົວທຽບຖານ (blank) ເພື່ອປັບຄ່າອ້າງອີງຂອງເຄື່ອງກ່ອນດຳເນີນການວັດແທກຕົວຢ່າງຕົວຈິງ.

2.4.2. ການວິເຄາະຄ່າສີ

ຄ່າສີຂອງນ້ຳສະກັດໄດ້ຖືກວິເຄາະໂດຍໃຊ້ເຄື່ອງວັດແທກສີ

TP110 precision portable colorimeter (Testronix Instruments, Haryana, India). ເພື່ອປະເມີນຄວາມແຕກຕ່າງທາງດ້ານກາຍະພາບຂອງນ້ຳສະກັດທີ່ໄດ້ຈາກແຕ່ລະວິທີ. ຜົນການວັດແທກຖືກສະແດງໃນຮູບແບບລະບົບຄ່າສີ CIELAB ເຊິ່ງປະກອບດ້ວຍ 3 ພາລາມິເຕີຫຼັກຄື: ຄ່າ L^* (Lightness): ສະແດງເຖິງຄ່າຄວາມສະຫວ່າງ (ຄ່າ 0 ໝາຍເຖິງສີດຳເຂັ້ມ ແລະ ຄ່າ 100 ໝາຍເຖິງສີຂາວ). ຄ່າ a^* (Redness/Greenness): ສະແດງເຖິງຄ່າຄວາມເປັນສີແດງ (ຄ່າບວກ) ຫຼື ສີຂຽວ (ຄ່າລົບ). ຄ່າ b^* (Yellowness/Blueness): ສະແດງເຖິງຄ່າຄວາມເປັນສີເຫຼືອງ (ຄ່າບວກ) ຫຼື ສີຝ້າ (ຄ່າລົບ).

2.5 ການວິເຄາະຂໍ້ມູນ

ການວິເຄາະຂໍ້ມູນທາງສະຖິຕິເພື່ອປຽບທຽບຄວາມແຕກຕ່າງລະຫວ່າງວິທີການສະກັດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (MAE, UAE ແລະ ການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມ) ໄດ້ວິເຄາະຄວາມແປບວນທາງດຽວແບບ One-way ANOVA ໂດຍນຳໃຊ້ໂປຣແກຣມທາງສະຖິຕິ SPSS Ver. 22 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). ການປຽບທຽບຄວາມແຕກຕ່າງຂອງຄ່າສະເລ່ຍລາຍດ້ວຍວິທີ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ທີ່ລະດັບຄວາມເຊື່ອໝັ້ນ 95% ($p < 0.05$).

3. ຜົນໄດ້ຮັບ

3.1. ປະລິມານສານອອກລິດທາງຊີວະພາບທີ່ສະກັດໄດ້

ຜົນການທົດລອງສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($P < 0.05$) ທາງດ້ານປະສິດທິພາບການສະກັດລະຫວ່າງ 3 ເຕັກນິກ ໃນຊ່ວງໄລຍະເວລາສະກັດພຽງ 5 ນາທີ. ວິທີ MAE ສະແດງໃຫ້ເຫັນເຖິງປະສິດທິພາບທີ່ດີເລີດໃນທຸກໆຕົວຊີ້ວັດທາງຟິຕເຄມີ (phytochemical metrics) ໂດຍໃຫ້ຄ່າປະລິມານສານຟີໂນລິກທັງໝົດ (Total Phenolic Content) ສູງສຸດ (19.68 mg GAE/g), ປະລິມານແທນນິນ (11.42 mg TAE/g) ແລະ ປະລິມານຟລາໂວນອຍທັງໝົດ (6.66 mg QE/g). ການສະກັດດ້ວຍການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມ ສະແດງໃຫ້ເຫັນປະສິດທິພາບໃນລະດັບປານກາງ ໂດຍໃຫ້ຄ່າ TPC ຢູ່ທີ່ 17.01 mg GAE/g, ປະລິມານແທນນິນ 9.65 mg TAE/g ແລະ ປະລິມານຟລາໂວນອຍ 4.25 mg QE/g. ໃນທາງກົງກັນຂ້າມ, ວິທີ UAE ສະແດງໃຫ້ເຫັນປະສິດທິພາບການສະກັດຕໍ່າສຸດ ໂດຍໃຫ້ຄ່າ TPC ພຽງ 10.95 mg GAE/g, ແທນນິນ 6.34 mg TAE/g ແລະ ຟລາໂວນອຍ 2.30 mg QE/g (ຮູບທີ 2).

3.2. ລິດການຕ້ານອະນຸມຸນອິດສະຫຼະ (DPPH)

ຄວາມສາມາດໃນການຕ້ານອະນຸມຸນອິດສະຫຼະຂອງນ້ຳສະກັດມີຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($P < 0.05$) ແລະ ແນວໃນມສອດຄ່ອງກັບປະລິມານສານສຳຄັນທີ່ສະກັດໄດ້. ນ້ຳສະກັດຈາກວິທີ MAE ສາມາດຢັບຢັ້ງ DPPH ໄດ້ສູງສຸດທີ່ 31.51%, ຮອງລົງມາແມ່ນການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມທີ່ 26.08% ແລະ UAE ທີ່ 21.27% (ຮູບທີ 3).

3.3. ຄ່າຄວາມທົບແສງ ແລະ ຄ່າສີ

ການວິເຄາະຄຸນລັກສະນະທາງກາຍະພາບ ໄດ້ໃຫ້ຫຼັກຖານເພີ່ມເຕີມທີ່ຍັງອີງເຖິງ ຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($P < 0.05$) ຂອງການສະກັດ. ຄ່າຄວາມທົບແສງ (OD_{600}) ມີຄ່າສູງສຸດໃນວິທີ MAE (1.10), ລະດັບກາງໃນການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມ (0.70) ແລະ ຕໍ່າສຸດໃນວິທີ UAE (0.34). ຜົນການວິເຄາະຄ່າສີກໍສະໜັບສະໜູນການຄົ້ນພົບ

ເຫຼົ່ານີ້ເຊັ່ນກັນ. ນ້ຳຂົງດຳສະກັດຈາກວິທີ MAE ສະແດງໃຫ້ເຫັນສີທີ່ເຂັ້ມສູງທີ່ສຸດ ເຊິ່ງບົ່ງບອກດ້ວຍຄ່າຄວາມສະຫວ່າງຕໍ່າສຸດ ($L^* = 2.30$) ແລະ ອົງປະກອບຄ່າສີສະເພາະ ($a^* = 12.33$, $b^* = 1.27$). ການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມໃຫ້ຕົວຢ່າງນ້ຳຂົງດຳສະກັດທີ່ມີສີເຂັ້ມລະດັບປານກາງ ($L^* = 4.87$, $a^* = 25.33$, $b^* = 5.77$), ໃນຂະນະທີ່ວິທີ UAE ໄດ້ນຳຂົງດຳສະກັດທີ່ມີສີອ່ອນທີ່ສຸດ ($L^* = 25.67$, $a^* = 24.67$, $b^* = 7.97$) (ຮູບທີ 4).

4. ວິພາກຜົນ

4.1. ປະລິມານສານອອກລິດທາງຊີວະພາບທີ່ສະກັດໄດ້

ປະສິດທິພາບການສະກັດທີ່ສູງກວ່າຂອງວິທີ MAE ພາຍໃນໄລຍະເວລາສັ້ນພຽງ 5 ນາທີ ແມ່ນເປັນຜົນມາຈາກການໃຫ້ຄວາມຮ້ອນແບບໄດອີເລັກໂທຣນິກທາງບໍລິມາດ (volumetric dielectric heating), ການເຄື່ອນທີ່ຢ່າງໄວວາຂອງນ້ຳພາຍໃນຈຸລັງໄດ້ສ້າງແຮງດັນພາຍໃນຢ່າງມະຫາສານ ເຮັດໃຫ້ຜະໜັງຈຸລັງຂອງຊີວະແຕກອອກ ແລະ ຊ່ວຍໃຫ້ເກີດການປ່ອຍຕົວທຳລາຍອອກມາຢ່າງວ່ອງໄວ (Nisoa et al., 2023). ການປຽບທຽບຊື່ໃຫ້ເຫັນວ່າ MAE ມີປະສິດທິພາບດີກວ່າ UAE ແລະ ການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມສຳລັບຂົງດຳ ເນື່ອງຈາກໄມໂຄຣເວບເຮັດໃຫ້ເກີດຄວາມຮ້ອນ ແລະ ທຳລາຍຈຸລັງສູງກວ່າໃນເວລາທີ່ສັ້ນ ເຊິ່ງຊ່ວຍເພີ່ມຄວາມສາມາດການຖ່າຍເທມວນສານ ແລະ ຍັງຮັກສາສານຕ່າງໆອະນຸມຸນອິດສະຫຼະໄວ້ໄດ້. ໃນຂະນະທີ່ກົນໄກຄາວິເທຊັນຂອງ UAE ມີປະສິດທິພາບຈຳກັດຢູ່ບໍລິເວນໃກ້ໜ້າສຳຜັດເທົ່ານັ້ນ ເຊິ່ງຈະມີປະສິດທິພາບໜ້ອຍກວ່າເມື່ອຢູ່ພາຍໃນວັດຖຸດິບທີ່ມີຄວາມໜາແໜ້ນ ແລະ ຕ້ອງໄດ້ຊອກສະພາວະທີ່ເໝາະສົມ ເພື່ອໃຫ້ໄດ້ຜົນຜະລິດທຽບເທົ່າກັບ MAE (Álvarez-Romero et al., 2023; Peng et al., 2023). ສອດຄ່ອງກັບການລາຍງານຂອງ Chemat et al. (2017) ພົບວ່າກົນໄກຄາວິເທຊັນຂອງຄື້ນຄື້ນສູງຄວາມຖີ່ສູງຈະມີປະສິດທິພາບສູງໃນການທຳລາຍຈຸລັງໄດ້ເຊັ່ນກັນ ແຕ່ຂະບວນການສະກັດທາງກົນຈັກຈຳເປັນຕ້ອງໃຊ້ເວລາໃນການສະສົມແຮງຕັດ (shear force) ໃຫ້ພຽງພໍ. ການສຶກສາສະພາວະທີ່ເໝາະສົມໃນງານວິໄຈທີ່ຜ່ານມາແນະນຳວ່າ ການໃຊ້ UAE ກັບຂົງດຳໂດຍທົ່ວໄປຕ້ອງໃຊ້ເວລາ 15 ຫາ 25 ນາທີ ເພື່ອໃຫ້ໄດ້ຜົນຜະລິດສູງສຸດ (Krongrawa et al., 2022). ພາຍໃຕ້ຂໍ້ຈຳກັດເວລາຢ່າງເຄັ່ງຄັດພຽງ 5 ນາທີ, UAE ຈຶ່ງເສຍປຽບທາງດ້ານອັດຕາການເກີດປະຕິກິລິຍາ ເມື່ອທຽບກັບຜົນກະທົບທາງຄວາມຮ້ອນ ແລະ ແຮງດັນທີ່ເກີດຂຶ້ນ. ໃນດ້ານການຕົ້ມແບບດັ່ງເດີມ ເຖິງແມ່ນວ່າຈະຖືກຈຳກັດດ້ວຍອັດຕາການເກີດປະຕິກິລິຍາທີ່ຊ້າຂອງການແຜ່ກະຈາຍຄວາມຮ້ອນແບບອິດສະຫຼະ ແຕ່ຄວາມຮ້ອນທີ່ສູງຂອງການຕົ້ມກໍພຽງພໍທີ່ຈະລະລາຍສານອອກລິດທາງຊີວະພາບອອກມາໄດ້ໃນລະດັບກາງ ເມື່ອທຽບໃສ່ວິທີອື່ນໃນການທົດລອງນີ້.

ຜົນການສຶກສານີ້ຍັງມີຄວາມສອດຄ່ອງກັບງານວິໄຈທີ່ຜ່ານມາ ເຊິ່ງພົບວ່າເຕັກນິກການສະກັດມີຜົນກະທົບໂດຍກົງຕໍ່ປະລິມານສານອອກລິດທາງຊີວະພາບ ແລະ ສານຕ່າງໆອະນຸມຸນອິດສະຫຼະ. ເມື່ອປຽບທຽບປະລິມານສານຟີໂນລິກທັງໝົດ (TP: 19.68 mg GAE/g) ແລະ ຟລາໂວນອຍທັງໝົດ (TF: 6.66 mg QE/g) ທີ່ໄດ້ຈາກວິທີ MAE, ພົບວ່າມີຄວາມສອດຄ່ອງກັບການລາຍງານຂອງ Nisoa et al. (2023) ທີ່ລາຍງານວ່າການໃຊ້ MAE ສາມາດເພີ່ມປະລິມານການ

ສະກັດສານສໍາຄັນຈາກເຫງົ້າຂົງດໍາໄດ້ສູງສຸດພາຍໃນເວລາທີ່ສັ້ນ. ນອກຈາກນີ້ຄໍາການຢັບຢັ້ງ DPPH (31.51%) ທີ່ສູງທີ່ສຸດຈາກວິທີ MAE ຍັງສອດຄ່ອງກັບການລາຍງານຂອງ Chaisuwan et al. (2022) ທີ່ຢັ້ງຢືນວ່າການປ່ອຍສານສະກັດອອກມາຢ່າງໄວ ໄດ້ຊ່ວຍຮັກສາໂຄງສ້າງຂອງສານຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະບໍ່ໃຫ້ເສື່ອມສະຫຼາຍດັ່ງທີ່ມັກຈະພົບໃນການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມທີ່ໃຊ້ເວລາສະກັດຍາວນານ (Ab Rahman et al., 2018). ໃນຂະນະດຽວກັນ, ຜົນການສະກັດທີ່ຕໍ່າຂອງວິທີ UAE ໃນການສຶກສານີ້ກໍເປັນໄປໃນທິດທາງດຽວກັບການສຶກສາຂອງ Islam & Malakar (2023) ແລະ Krongrawa et al. (2022) ທີ່ລະບຸວ່າປະສິດທິພາບການສະກັດສານສໍາຄັນດ້ວຍຄື້ນສຽງຄວາມຖີ່ສູງ (UAE) ຈໍາເປັນຕ້ອງໃຊ້ເວລາສະກັດທີ່ດີກວ່າ (ມັກຈະຫຼາຍກວ່າ 15 ນາທີ) ແລະ ຕ້ອງມີການປັບຈຸນຄ່າຄື້ນສຽງໃຫ້ເໝາະສົມເພື່ອໃຫ້ຜະລິດງານສາມາດທໍາລາຍຜະໜັງຈຸລັງຂອງຜິດສະໝຸນໄພໄດ້.

4.2. ປະສິດທິພາບການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະ ແລະ ຄວມທົບແສງ

ເນື່ອງຈາກຄວາມສາມາດໃນການກໍາຈັດອະນຸມູນອິດສະຫຼະຂອງຂົງດໍາ ມີຄວາມສໍາພັນໂດຍກົງກັບຄວາມເຂັ້ມຂຸ້ນທີ່ແທ້ຈິງຂອງສານປະກອບຝີ ໂປລີ ຟລາໂວນ ແລະ ໂປລີມີເທອຊີຟລາໂວນ (Polymethoxyflavones) ການຖ່າຍເທມວນສານທີ່ດີກວ່າຂອງ MAE ຈຶ່ງສົ່ງຜົນໃຫ້ມີລິດການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະທີ່ສູງກວ່າຢ່າງຊັດເຈນ (Chaisuwan et al., 2022). ຂະບວນການ MAE ທີ່ໃຊ້ເວລາສັ້ນໆພຽງ 5 ນາທີ ສາມາດເພີ່ມຜົນຜະລິດໄດ້ສູງສຸດ ແລະ ຍັງຊ່ວຍຫຼີກລ່ຽງການເສື່ອມສະຫຼາຍດ້ວຍຄວາມຮ້ອນທີ່ດີນ ເຊິ່ງມັກຈະເປັນບັນຫາສໍາລັບວິທີຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມທີ່ໃຊ້ເວລາສະກັດທີ່ດົນນານກວ່າ (Ab Rahman et al., 2018).

ຄໍາຄວາມທົບແສງທີ່ສູງກວ່າ ມີຄວາມສອດຄ່ອງກັບຄວາມເຂັ້ມຂຸ້ນທີ່ສູງຂຶ້ນຂອງສານແຂວນລອຍທີ່ປະກອບດ້ວຍສານພາຍໃນຈຸລັງ ແລະ ເມັດສີທີ່ຖືກສະກັດອອກມາ. ເຊິ່ງສາມາດມາດອະທິບາຍໄດ້ງ່າຍດາຍ ໂດຍຄວາມເຂັ້ມຂອງສີທີ່ມີຄວາມຂອງນໍ້າສະກັດຈາກ MAE ເປັນຜົນມາຈາກສານສະກັດໄດ້ປະລິມານສູງສຸດຂອງເມັດສີມ່ວງເຂັ້ມ ແລະ ສານສະກັດທີ່ໜ້າແໜ້ນເຊິ່ງອອກມາຈາກເຫງົ້າຂົງດໍາ.

5. ສະຫຼຸບ

ການສຶກສານີ້ຢັ້ງຢືນວ່າ ການເລືອກໃຊ້ເຕັກໂນໂລຊີການສະກັດມີຜົນກະທົບຢ່າງເລິກເຊິ່ງຕໍ່ການສະກັດສານອອກລິດທາງຊີວະພາບຈາກຂົງດໍາ ເມື່ອດໍາເນີນການພາຍໃຕ້ຂໍ້ຈໍາກັດຕາມແຜນການທົດລອງ ພົບວ່າການສະກັດດ້ວຍໄມໂຄຣເວບ ໄດ້ຮັບການຢັ້ງຢືນວ່າເປັນວິທີທີ່ມີປະສິດທິພາບສູງສຸດ, ໂດຍສະແດງປະສິດທິພາບເໜືອກວ່າທັງການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມ ແລະ ການສະກັດດ້ວຍຄື້ນສຽງຄວາມຖີ່ສູງ ໃນການໃຊ້ສານລະລາຍໃຊ້ນໍ້າເປັນຕົວສະກັດໃນເວລາ 5 ນາທີ. ໂດຍການສະກັດດ້ວຍໄມໂຄຣເວບສາມາດໄດ້ປະລິມານສານຝີໂປລີຟາວນອນ, ແທນນິນທັງໝົດ, ຝລາໂວນອຍທັງໝົດ ແລະ ລິດການຕ້ານອະນຸມູນອິດສະຫຼະລວມໄດ້ສູງສຸດ ດັ່ງນັ້ນການສະກັດດ້ວຍໄມໂຄຣເວບຈຶ່ງເປັນແນວທາງເຕັກໂນໂລຊີທີ່ເໝາະສົມທີ່ສຸດ, ປະຢັດເວລາ ແລະ ເປັນມິດກັບສິ່ງແວດລ້ອມ ເໝາະສໍາລັບການຜະລິດນໍ້າສະກັດຂົງດໍາຄຸນນະພາບສູງ ໃນການນໍາໄປປະຍຸກໃຊ້ໃນອຸດສາຫະກໍາອາຫານເພື່ອສຸຂະພາບ ແລະ ທາງການແພດ.

6. ຄໍາຂອບໃຈ

ຂໍສະແດງຄວາມຂອບໃຈຢ່າງສູງມາຍັງ ສູນບົ່ມເພາະທຸລະກິດມະຫາວິທະຍາໄລສຸພານຸວົງ ທີ່ໄດ້ອໍານວຍຄວາມສະດວກທາງດ້ານສະຖານທີ່, ເຄື່ອງມື ແລະ ອຸປະກອນໃນການທົດລອງຕະຫຼອດການສຶກສາຄັ້ງນີ້. ຂໍຂອບໃຈເປັນພິເສດມາຍັງ ກອງທຶນພັດທະນາວິທະຍາສາດ ແລະ ເຕັກໂນໂລຊີ ທີ່ໄດ້ໃຫ້ທຶນສະໜັບສະໜູນໃນການຄົ້ນຄວ້າວິໄຈຈົນສໍາເລັດຜົນ.

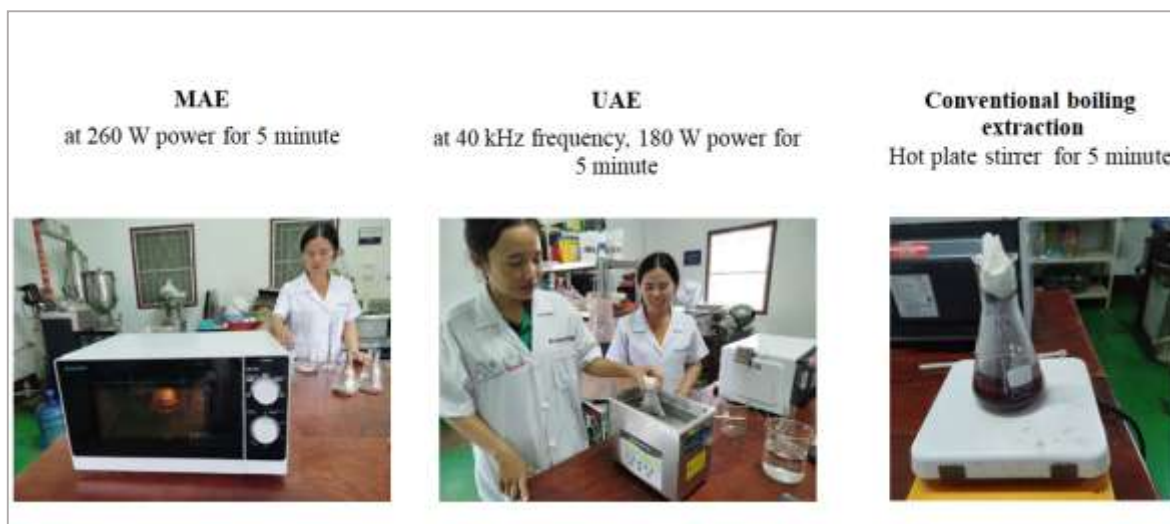
7. ຂໍຂັດແຍ່ງ:

ໃນນາມທີມນັກຄົ້ນຄວ້າ ພວກຂ້າພະເຈົ້າທຸກຄົນຂໍປະກາດວ່າ ບໍ່ມີຂໍຂັດແຍ່ງທາງຜົນປະໂຫຍດໃດໆ ບໍ່ວ່າຈະເປັນທາງດ້ານການເງິນ, ສ່ວນຕົວ, ໜ້າທີ່ການງານ ຫຼື ຄວາມສໍາພັນອື່ນໆ ທີ່ອາດຈະສົ່ງຜົນກະທົບ ຕໍ່ການຕີພິມບົດຄວາມວິໄຈສະບັບນີ້.

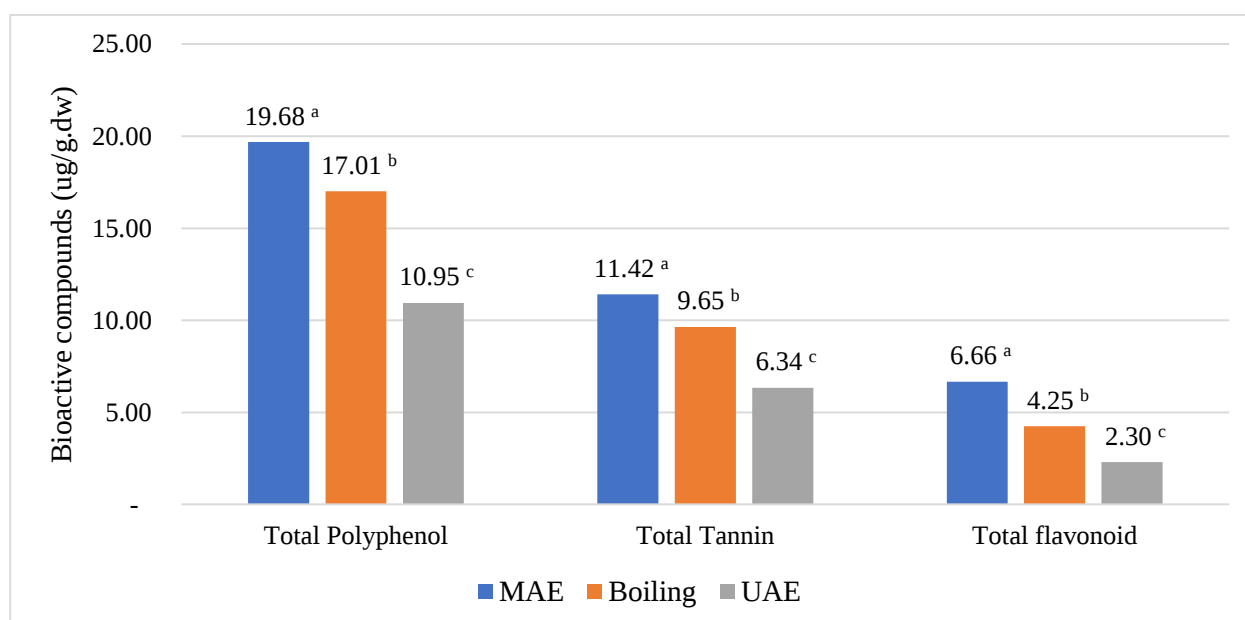
8. ເອກະສານອ້າງອີງ

- Ab Rahman, Z., Abd Shukor, S., Abbas, H., Machap, C. A. L., Alias, M. S. B., Mirad, R., Sofiyanand, S., & Othman, A. N. (2018). Optimization of extraction conditions for total phenolics and total flavonoids from *Kaempferia parviflora* rhizomes. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 9(5), 205-214.
- Álvarez-Romero, M., Ruíz-Rodríguez, A., Barbero, G. F., Vázquez-Espinosa, M., El-Mansouri, F., Brigui, J., & Palma, M. (2023). Comparison between Ultrasound- and Microwave-assisted extraction methods to determine phenolic compounds in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Foods*, 12(14), 2638.
- Braca, A., Fico, G., Morelli, I., De Simone, F., Tomè, F., & De Tommasi, N. (2003). Antioxidant and free radical scavenging activity of flavonol glycosides from different *Aconitum* species. *Journal of Ethnopharmacology*, 86(1), 63-67.
- Chaisuwan, V., Dajanta, K., & Srikaeo, K. (2022). Effects of extraction methods on antioxidants and methoxyflavones of *Kaempferia parviflora*. *Food Res*, 6(3), 374-381.
- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 540-560.
- Chen, D., Li, H., Li, W., Feng, S., & Deng, D. (2018). *Kaempferia parviflora* and its methoxyflavones: Chemistry and biological activities. *Evidence-*

- Based Complementary and Alternative Medicine*, 2018(1), 4057456.
- Eom, S. H., Park, H. J., Jin, C. W., Kim, D. O., Seo, D. W., Jeong, Y. H., & Cho, D. H. (2008). Changes in antioxidant activity with temperature and time in *Chrysanthemum indicum* L.(Gamguk) teas during elution processes in hot water. *Food Science and Biotechnology*, 17(2), 408-412.
- Islam, M., Malakar, S., Rao, M. V., Kumar, N., & Sahu, J. K. (2023). Recent advancement in ultrasound-assisted novel technologies for the extraction of bioactive compounds from herbal plants: a review. *Food Science and Biotechnology*, 32(13), 1763.
- Khounvilay, B., Salitxay, T., Lokhamheuang, V., Phovisay, S., & Bandavong, V. (2023). Investigation of antioxidant from extracts leaf, stem, fruit of *Morinda citrifolia*. *Souphanouvong University Journal Multidisciplinary Research and Development*, 9(3), 177–185.
- Krongrawa, W., Limmatvapirat, S., Vollrath, M. K., Kittakoop, P., Saibua, S., & Limmatvapirat, C. (2022). Optimization of ultrasound-assisted extraction of yields and total methoxyflavone contents from *Kaempferia parviflora* rhizomes. *Molecules*, 27(13), 4162.
- Mungwari, C. P., King'ondur, C. K., Sigauke, P., & Obadele, B. A. (2025). Conventional and modern techniques for bioactive compounds recovery from plants. *Scientific African*, 27, e02509.
- Nisoa, M., Plodkaew, A., Sirisathitkul, C., Wattanasit, K., Somjit, B., Pacdeepin, P., & Sirisathitkul, Y. (2023). Simulation and experimentation on parameters influencing microwave-assisted extraction of bioactive compounds from *Kaempferia parviflora* rhizomes. *Alexandria Engineering Journal*, 65, 357-366.
- Padma, R., Parvathy, N. G., Renjith, V., & Kalpana, P. R. (2013). Quantitative estimation of tannins, phenols and antioxidant activity of methanolic extract of *Imperata cylindrica*. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*, 4(1), 73-77.
- Peng, S., Zhu, M., Li, S., Ma, X., & Hu, F. (2023). Ultrasound-assisted extraction of polyphenols from Chinese propolis. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1131959.
- Phovisay, S., Abdullahi, A. D., Kham, N. N. N., Unban, K., Shetty, K., & Khanongnuch, C. (2024a). Microbial population and physicochemical properties of Miang fermented in bamboo tubes by the Luar ethnic group in Lao PDR. *Foods*, 13(13), 2109.
- Phovisay, S., Kodchasee, P., Abdullahi, A. D., Kham, N. N. N., Unban, K., Kanpiengjai, A., Saenjurn, C., Shetty, K., & Khanongnuch, C. (2024b). Tannin-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* isolated from traditional fermented tea leaf (Miang) and application in fruit wine fermentation using longan juice mixed with seed extract as substrate. *Foods*, 13(9), 1335.
- Saokaew, S., Wilairat, P., Raktanyakan, P., Dilokthornsakul, P., Dhippayom, T., Kongkaew, C., Sruamsiri, R., Chuthaputti, A., & Chaiyakunapruk, N. (2017). Clinical effects of Krachaidum (*Kaempferia parviflora*): A systematic review. *Journal of Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 22(3), 413-428.
- Sutthanut, K., Sripanidkulchai, B., Yenjai, C., & Jay, M. (2007). Simultaneous identification and quantitation of 11 flavonoid constituents in *Kaempferia parviflora* by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1143(1-2), 227-233.
- Wattanathorn, J., Tong-Un, T., Thukham-Mee, W., & Weerapreeyakul, N. (2023). A functional drink containing *Kaempferia parviflora* extract increases cardiorespiratory fitness and physical flexibility in adult volunteers. *Foods*, 12(18), 3411.

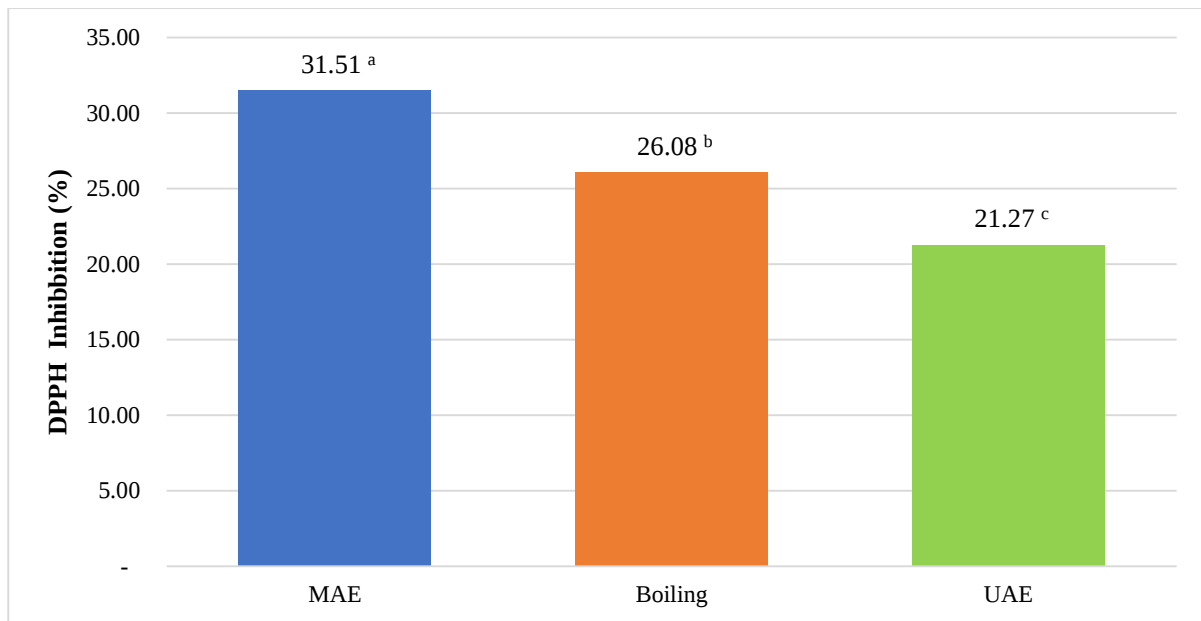


ຮູບທີ 1 ສະແດງອຸປະກອນ ແລະ ຂັ້ນຕອນການສະກັດຕົວຢ່າງດ້ວຍວິທີ MAE, UAE ແລະ ການຕົ້ມແບບດັ້ງເດີມ.



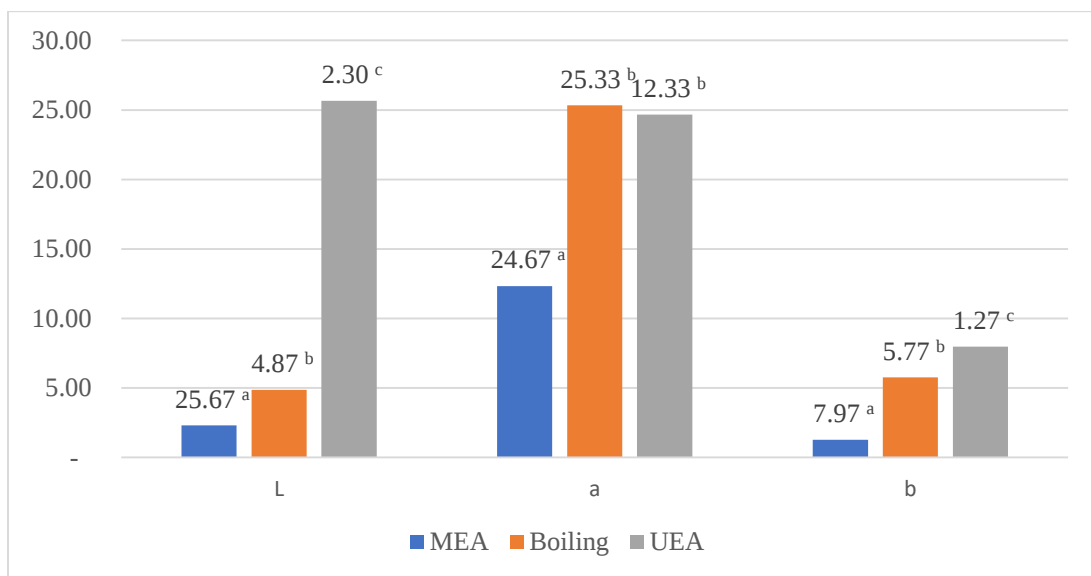
ໝາຍເຫດ: ເົວອັກສອນພາສາອັງກິດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (a, b, c) ສະແດງເຖິງມີຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($p < 0.05$) ໂດຍການທົດສອບດ້ວຍວິທີ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).

ຮູບທີ 2 ປຽບທຽບສານອອກລົດທາງຊີວະພາບ (Total polyphenol, total tannin ແລະ total flavonoid ດ້ວຍວິທີການສະກັດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ



ໝາຍເຫດ: ຕົວອັກສອນພາສາອັງກິດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (a, b, c) ສະແດງເຖິງມີຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($p < 0.05$) ໂດຍການທົດສອບດ້ວຍວິທີ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).

ຮູບທີ 3 ປຽບທຽບສານການຕໍ່ຕ້ານອະນຸມຸນອິດສະຫຼະດ້ວຍວິທີ DPPH (Inhibition %)



ໝາຍເຫດ: ຕົວອັກສອນພາສາອັງກິດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ (a, b, c) ສະແດງເຖິງມີຄວາມແຕກຕ່າງທາງສະຖິຕິ ($p < 0.05$) ໂດຍການທົດສອບດ້ວຍວິທີ Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).

ຮູບທີ 4 ການປຽບທຽບຄ່າສີຂອງນ້ຳສະກັດຂົງດຳຈາກ 3 ເຕັກນິກການສະກັດທີ່ແຕກຕ່າງກັນ.