

計畫編號：108A016

綠色化學思維之全民教育深耕與 安全替代推動計畫

【正式報告】

（定稿本）

受託單位：中原大學

計畫執行期間：108年6月26日起至109年12月15日止

行政院環境保護署
毒物及化學物質局編印
中華民國109年12月印製

行政院環境保護署計畫成果中英文摘要

一、中文計畫名稱：

綠色化學思維之全民教育深耕與安全替代推動計畫

二、英文計畫名稱：

General Education Sprout Project for Green Chemistry and Safe Alternatives Initiative

三、計畫編號：

108A016

四、執行單位：

中原大學

五、計畫主持人（包括共同主持人）：

王玉純，張育傑，林于凱，徐宏德，賴宣婷

六、執行開始時間：

2019/06/26

七、執行結束時間：

2020/12/15

八、報告完成日期：

2020/12/15

九、報告總頁數：

477

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

108A016.DOC

十二、報告電子檔格式：

Word 5.0

十三、中文摘要關鍵詞：

綠色化學、教育推動、產業分析

十四、英文摘要關鍵詞：

green chemistry, education promotion, industrial analysis

十五、中文摘要（約三百至五百字）

為推動綠色化學全民教育深耕，於小學教育，已建立 6 種

以上綠色化學小學環境教育素材；完成 10 所小學教育研習活動且超過 300 人參與；辦理 4 場小學教師綠色化學種子培訓營，共計 116 以上人次參加。

在大專校院教育方面，建立 8 堂大專校院綠色化學通識教材並試教，共蒐集 237 份學生修課回饋問卷，並有超過 8 成學生認同可透過教材增進綠色化學相關知識；亦協助 6 所大專校院或單位開設綠色化學相關課程，超過 9 成授課學生認同可透過課程增進綠色化學相關知識；辦理第 2 屆大專校院綠色化學創意競賽，本屆競賽共計 46 組參賽隊伍報名，來自 27 所學校、40 個相關科系。

為鏈結產業與教育，盤點產學合作資訊及研析合作內容，以科技部產學合作計畫類型最多元，因此大多數欲申請之產學合作計畫多以申請科技部之產學合作計畫為主。

辦理 2 場次「綠色化學工作坊」，並蒐集產、官、學、研等專家學者針對「環境教育」「低毒安替」「綠色金融」三項主題之研析成果及經驗分享，以建立綠色化學未來推動策略。為觸及民眾推行綠色化學概念，協助建置綠色化學整合專區包含安全替代相關資訊平臺。

蒐集 2018-2020 年國際綠色化學相關會議資訊，並以遠距線上會議參加 2020 年美國化學工程年會。

為達成減少化學物質對國內環境健康之危害目標，評析國際安全替代成效，提出適合國內化學物質安全替代評估工作項目，並產出安全替代建議作業準則與步驟之 7 大項原則，包括(1)確認問題、(2)尋找潛在替代物質、(3)替代物質危害評估、(4)替代物質製程功能評估、(5)替代物質生命週期評估、(6)篩選合適替代物質進行試驗計畫、以及(7)正式執行及反饋。研析 12 項化學物質於 6 類消費性產品產業（食品容器包裝材料、紡織用品、建材與裝潢塗裝材料、汽車及其組裝零件、居家清潔用品、電子設備產品）使用現況並彙整安全替代實例或研究成果。編纂 2019 及 2020 年「綠色化學產業應用推廣年報」。

產業推動策略也藉由綠色金融措施促使產業自發性地減少製程化學物質，彙整美國、德國、法國、日本等 4 個國家化學物質管理成本內化現況，並探討我國現行化學物質管理成本

內化措施，評估國際現有措施導入我國所需具備的法規或相關條件及產業需求。研析國內化學安全管理及推廣等符合綠色化學之相關標章制度及內容，評估納入綠色化學原則或安全替代策略於相關標章對於產業推動綠色化學之效益成果。研析並彙整國際化學品租賃制度作法，包含埃及、塞爾維亞、斯里蘭卡等，並產出 10 例國際推動成功案例簡報外，檢視化學品租賃作法融合綠色化學適用性，提出適合發展我國推動化學品租賃之建議策略。初步建立綠色化學準則之架構。彙整我國化學物質管理相關主管單位業務，包含環保署、經濟部、勞動部、衛福部、教育部及農委會等六個主要相關部會及轄下之九個相關局處與綠色化學各原則並產出關聯圖。

十六、英文摘要：

This project aims to promote green chemistry development in Taiwan through education, safer alternative chemical, and green finance. For primary education, we established more than 6 types of environmental education materials for primary schools, completion of green chemistry promotion in 10 primary schools in the northern Taiwan, more than three hundreds of participants, and organized 4 green chemistry seed training camps for primary school teachers, about one hundred and sixteen teachers participated.

For advance education, we established 8 green chemistry general education teaching materials. We received 237 questionnaires from students who took the lesson, and over 80% students agreed that they can gain some knowledge about green chemistry. We also assisted 6 institutions to set up green chemistry-related courses. We held the second Green Chemistry Creativity Competition for Universities and Colleges. There are 46 participating teams from 27 schools and 40 departments and institutes, including materials engineering, chemistry, chemical engineering, environmental engineering, occupational safety and health, and science education.

To link with industry and education, we collected industry-academia collaboration information and research contents, and the

Ministry of Science and Technology (MOST) has the most diverse types of industry-academia cooperation programs for researchers in Taiwan.

We designed and set up a webpage to promote the concept of green chemistry and share the related information to the general public. We also analyzed the international trend of green chemistry development, collected the information of international green chemistry conferences from 2018 to 2020. We also participated in the 2020 American Chemical Engineering Conference on-line activities.

In order to reduce the hazardous chemical substances to the domestic environment and population health, this study evaluated the effectiveness of safer alternative chemical, listed a domestic chemical substance safety substitution assessments, and develop the procedures and steps for evaluating safer alternative chemicals, including the 7 Principles: (1) identifying the problems, (2) searching for potential alternative substances, (3) hazard assessment of alternative substances, (4) functional assessment of alternative substances, (5) life cycle assessment of alternative substances, (6) selection of suitable alternative substances for test programs, and (7) formal implementation and feedback. By the 2020, the 12 items of chemical substances, were identified and recommended as the first-tier alternative chemicals for their current use in 6 types of consumer products, such as food container packaging materials, textile products, building and decorative materials, automotive and assembly parts, household cleaning products, electronic equipment products. We interview the chairmen of various industries and collected industrial information to compile two annual reports (2019 & 2020 annual report), including the environmental benefits of green chemistry practices by the 1st Green Application and Innovation Award winner.

To understand and encourage industries to voluntarily reduce process chemicals through green financial measures, an overview of

the current chemical substance management costs in four countries, namely U.S., Germany, France, and Japan, were collected and compiled, in addition, to explore current measures to internalize chemical substance management costs in Taiwan; moreover, the regulations, environments, and industrial needs for the introduction of international measures into Taiwan were evaluated as well. We also analyzed domestic chemical safety management and promotion systems and contents in line with green chemistry, and evaluated the benefits of incorporating green chemistry principles or safe alternative strategies into relevant standards for the promotion of green chemistry in the industries. International cases of chemical leasing, including Egypt, Siberia and Sri Lanka, were collected and analyze to develop 10 successful international case presentations, and we examined whether the applicability of chemical leasing and proposed strategies suitable for Taiwan's development and promotion of chemical leasing. We established a preliminary framework for green chemistry guideline, organized the tasks of the related sectors in charge of the management of chemical substances in Taiwan, including Environmental Protection Administration, Ministry of Economic Affairs, Ministry of Labor, Minister of Health and Welfare, Ministry of Education, Council of Agriculture, and nine associated bureaus. We also completed a framework for the relationships between Taiwan's chemical substance management authorities and green chemistry principles.

計畫成果報告摘要（詳細版）

計畫名稱：綠色化學思維之全民教育深耕與安全替代推動計畫

計畫編號：108A016

計畫執行單位：中原大學

計畫主持人（包括協同主持人）：王玉純，張育傑，林于凱，
徐宏德，賴宣婷

計畫期程：108 年 6 月 26 日起至 109 年 12 月 15 日止

計畫經費：11,439,328 元

摘要

為推動綠色化學全民教育深耕，於小學教育，已建立 6 種以上綠色化學小學環境教育素材；完成 10 所小學教育研習活動且超過 300 人參與；辦理 4 場小學教師綠色化學種子培訓營，共計 116 以上人次參加。

在大專校院教育方面，建立 8 堂大專校院綠色化學通識教材並試教，共蒐集 237 份學生修課回饋問卷，並有超過 8 成學生認同可透過教材增進綠色化學相關知識；亦協助 6 所大專校院或單位開設綠色化學相關課程，超過 9 成授課學生認同可透過課程增進綠色化學相關知識；辦理第 2 屆大專校院綠色化學創意競賽，本屆競賽共計 46 組參賽隊伍報名，來自 27 所學校、40 個相關科系。

為鏈結產業與教育，盤點產學合作資訊及研析合作內容，以科技部產學合作計畫類型最多元，因此大多數欲申請之產學合作計畫多以申請科技部之產學合作計畫為主。

辦理 2 場次「綠色化學工作坊」，並蒐集產、官、學、研等專家學者針對「環境教育」「低毒安替」「綠色金融」三項主題之研析成果及經驗分享，以建立綠色化學未來推動策略。為觸及民眾推行綠色化學概念，協助建置綠色化學整合專區包含安全替代相關資訊平臺。

蒐集 2018-2020 年國際綠色化學相關會議資訊，並以遠距線上會議參加 2020 年美國化學工程年會。

為達成減少化學物質對國內環境健康之危害目標，評析國際安全替代成效，提出適合國內化學物質安全替代評估工作項目，並產出安全替代建議作業準則與步驟之 7 大項原則，包括(1)確認問題、(2)尋找潛在替代物質、(3)替代物質危害評估、(4)替代物質製程功能評估、(5)替代物質生命週期評

估、(6)篩選合適替代物質進行試驗計畫、以及(7)正式執行及反饋。研析 12 項化學物質於 6 類消費性產品產業（食品容器包裝材料、紡織用品、建材與裝潢塗裝材料、汽車及其組裝零件、居家清潔用品、電子設備產品）使用現況並彙整安全替代實例或研究成果。編纂 2019 及 2020 年「綠色化學產業應用推廣年報」。

產業推動策略也藉由綠色金融措施促使產業自發性地減少製程化學物質，彙整美國、德國、法國、日本等 4 個國家化學物質管理成本內化現況，並探討我國現行化學物質管理成本內化措施，評估國際現有措施導入我國所需具備的法規或相關條件及產業需求。研析國內化學安全管理及推廣等符合綠色化學之相關標章制度及內容，評估納入綠色化學原則或安全替代策略於相關標章對於產業推動綠色化學之效益成果。研析並彙整國際化學品租賃制度作法，包含埃及、塞爾維亞、斯里蘭卡等，並產出 10 例國際推動成功案例簡報外，檢視化學品租賃作法融合綠色化學適用性，提出適合發展我國推動化學品租賃之建議策略。初步建立綠色化學準則之架構。彙整我國化學物質管理相關主管單位業務，包含環保署、經濟部、勞動部、衛福部、教育部及農委會等六個主要相關部會及轄下之九個相關局處與綠色化學各原則並產出關聯圖。

Abstract

This project aims to promote green chemistry development in Taiwan through education, safer alternative chemical, and green finance. For primary education, we established more than 6 types of environmental education materials for primary schools, completion of green chemistry promotion in 10 primary schools in the northern Taiwan, more than three hundreds of participants, and organized 4 green chemistry seed training camps for primary school teachers, about one hundred and sixteen teachers participated.

For advance education, we established 8 green chemistry general education teaching materials. We received 237 questionnaires from students who took the lesson, and over 80% students agreed that they can gain some knowledge about green chemistry. We also assisted 6 institutions to set up green chemistry-related courses. We held the second Green Chemistry Creativity Competition for Universities and Colleges. There are 46 participating teams from 27 schools and 40 departments and institutes, including materials engineering, chemistry, chemical engineering, environmental engineering, occupational safety and health,

and science education.

To link with industry and education, we collected industry-academia collaboration information and research contents, and the Ministry of Science and Technology (MOST) has the most diverse types of industry-academia cooperation programs for researchers in Taiwan.

We designed and set up a webpage to promote the concept of green chemistry and share the related information to the general public. We also analyzed the international trend of green chemistry development, collected the information of international green chemistry conferences from 2018 to 2020. We also participated in the 2020 American Chemical Engineering Conference on-line activities.

In order to reduce the hazardous chemical substances to the domestic environment and population health, this study evaluated the effectiveness of safer alternative chemical, listed a domestic chemical substance safety substitution assessments, and develop the procedures and steps for evaluating safer alternative chemicals, including the 7 Principles: (1) identifying the problems, (2) searching for potential alternative substances, (3) hazard assessment of alternative substances, (4) functional assessment of alternative substances, (5) life cycle assessment of alternative substances, (6) selection of suitable alternative substances for test programs, and (7) formal implementation and feedback. By the 2020, the 12 items of chemical substances, were identified and recommended as the first-tier alternative chemicals for their current use in 6 types of consumer products, such as food container packaging materials, textile products, building and decorative materials, automotive and assembly parts, household cleaning products, electronic equipment products. We interview the chairmen of various industries and collected industrial information to compile two annual reports (2019 & 2020 annual report), including the environmental benefits of green chemistry practices by the 1st Green Application and Innovation Award winner.

To understand and encourage industries to voluntarily reduce process chemicals through green financial measures, an overview of the current chemical substance management costs in four countries, namely U.S., Germany, France, and Japan, were collected and compiled, in addition, to explore current measures to internalize chemical substance management costs in Taiwan; moreover, the

regulations, environments, and industrial needs for the introduction of international measures into Taiwan were evaluated as well. We also analyzed domestic chemical safety management and promotion systems and contents in line with green chemistry, and evaluated the benefits of incorporating green chemistry principles or safe alternative strategies into relevant standards for the promotion of green chemistry in the industries. International cases of chemical leasing, including Egypt, Siberia and Sri Lanka, were collected and analyzed to develop 10 successful international case presentations, and we examined whether the applicability of chemical leasing and proposed strategies suitable for Taiwan's development and promotion of chemical leasing. We established a preliminary framework for green chemistry guideline, organized the tasks of the related sectors in charge of the management of chemical substances in Taiwan, including Environmental Protection Administration, Ministry of Economic Affairs, Ministry of Labor, Minister of Health and Welfare, Ministry of Education, Council of Agriculture, and nine associated bureaus. We also completed a framework for the relationships between Taiwan's chemical substance management authorities and green chemistry principles.

執行方法

於 108 年 7 月 5 日舉行會議，與化學局確認計畫執行規劃與方向並瞭解執行範疇。

一、綠色化學教育推廣

1. 製作 6 式小學環境教育素材，每式教材須完成議題、手冊、50 頁簡報及動畫，並經 3 位專家審查。於 108 年 8 月 20 日召開小學教材專諮會並依會議結論建議，採用單一主題融入多領域的方式規劃課程主題架構，規劃之課程主題包含「水質與生活」「能源、熱、燃燒、全球暖化」「酸雨知多少」「生活中的染料」「食用色素面面觀」「水資源知多少」「土壤污染」「塑膠」。
2. 推廣並辦理 10 間小學教育研習活動及 4 場次小學教師種子培訓營，其中研習營主題範疇與綠色化學永續教育推動相關。
3. 建立國內綠色化學主題相關之大專校院通識教材，推廣大專校院綠色化學教育，於 108 年 8 月 29 日辦理大專校院綠色化學教材專諮會並依決議內容延續 107 年所規劃 16 門課程，設計符合綠色

化學或貼合化學局職掌範圍之課程主題，專諮會所規劃之課程主題包含「仿生與綠色化學」「溫室效應與環保冷媒」「石化產業的綠色化學轉型」「綠色化學與國際公約（持久性有機污染物、環境賀爾蒙）」「電池綠化類應用（汞公約、電池物質替代）」「生活中的化學」「生命週期與工業生態」「綠色化學實驗/實習課程：永光化學」。每份教材產出教學目標、教學需求指引、50 頁以上課程簡報，並交由 3 位審查委員審閱教材內容。

4. 於 108 年 11 月 15 日前協助 6 所大專校院與單位開設綠色化學相關課程。
5. 蒐集國際及國內近 3 年（107 至 109 年）與化學相關競賽活動，並以 107 年辦理綠色化學競賽經驗為基礎初步規劃，並於 108 年 8 月 28 日邀集專家學者參與專諮會建議辦理主題、期程、規則、推廣方式等項目，依會議結論規劃大專校院綠色化學創意競賽規則，以完善綠色化學競賽規劃。
6. 為設計綠色化學整合專區，於 108 年 6 月至 8 月蒐研國際與國內綠色化學教育網站平臺於 108 年 8 月 25 日辦理綠色化學網站架設討論會議，確認本計畫與資訊團隊（凌網科技）分工內容。
7. 辦理 2 場次綠色化學工作坊會議，邀請部會學者或相關產業共 4 位講師，分享綠色化學推動策略、經驗、需求及執行回饋成果，並彙整成員回饋及經驗分享，建立政府與產業推動綠色化學策略的做為及回應需求資料庫，用以研議後續綠色化學環境教育推廣作法。

二、化學物質安全替代

1. 因應綠色化學思維興起，過往使用毒性較高，對人體、環境有害之化學物質，思考將其替換；然而，化學物質替換必須經過謹慎評估過程，除選擇替代的化學物質具有毒性危害能大幅降低外，需考量物質對於產品品質之影響程度、現場製程操作參數、營運成本等要件。本計畫研析國際政府單位、國際組織或研究機構安全替代成效，提出適合國內之化學物質安全替代評估工作項目，並提出相關安全替代建議工作程式與步驟。
2. 彙整歐盟 REACH 法規、美國加州加強消費品安全法規、美國環保署安全產品標章計畫與成分清單、國際化學品秘書處 ChemSec、OECD 替代物質評估工具、SUBSPORT 線上資源及中國國家鼓勵

有毒有害原料（產品）替代品目錄等相關資料，摘錄重要法規相關安全替代規定、作法及替代品資訊，產出 6 類消費性產品化學物質成分正面表列建議替代清單至少 12 項，並以民生有感及社會關注化學物質，提出建立產業供應鏈上下游宣導推廣策略。

3. 為獎勵致力於毒性化學物質管理或研發改善措施之績優運作之企業，並推廣綠色化學產業成果，規劃編製「綠色化學產業應用推廣年報」。年報產業以化學局辦理之「第 1 屆綠色化學應用及創新獎」得獎廠商為主，並設定年度主題，逐年編纂綠色化學產業推廣年報。

三、綠色化學政策與金融策略

1. 本計畫參照國際綠色化學實施精神及推動策略，以及整合我國各部會職掌中化學物質掌管法規與政策，並配合國情及本土之環境條件調和後，以「友善環境 健康永續」為我國綠色化學推廣之願景，就「建立知能」「產業導入」「跨部合作」「國際交流」等四項重要領域，建立綠色化學 15 項推動策略，整合我國綠色化學準則架構。
2. 彙整國際現行化學物質管理推動策略及綠色金融措施，嘗試導入國際經濟市場上已發展成熟之財務金融工具與經濟模式，並研擬透過成本效益分析等工具推廣綠色化學於產業之金融依據。

結 果

一、綠色化學教育推廣

1. 109 年完成 10 間小學教育素材推廣，分別為 2 月 27 日臺北市麗山國小（生活中的染料）、3 月 3 日臺北市湖山國小（生活中的染料：藍染）、3 月 24 日新北市安和國小（水質與生活）、3 月 9 日臺北市文化國小（酸雨知多少）、9 月 17 日新北市信義國小（食物顏色秀）、10 月 19 日臺北市溪口國小（綠色永續水資源）、10 月 20 日臺北市武功國小（減塑特攻隊）、109 年 10 月 27 日基隆市信義國小（土壤中的化學）、10 月 28 日臺北市南門國小（生活中的染料）、10 月 28 日臺北市金華國小（生活中的染料）。
2. 小學種子培訓營共辦理 4 場，分別於 108 年 10 月 9 日、10 月 16 日先辦理 2 個場次，第一場次主題為「生活中的綠色化學」與「108 課綱的環境教育議題融入」。第二場次為「綠色化學課間活動方案

發展」以及「跨領域綠色化學方案實作」；於 109 年 10 月 14 日、10 月 20 日另 2 個場次，第一場次，分別進行「綠色化學融入藝術領域與示例」「綠色化學融入自然領域與示例」之研習。第二場次主題分別為「自然領域探究式教學在綠色化學的運用——以電池發展為例」「自然領域綠色化學雙語教學」。

3. 大專校院綠色化學通識教材經 108 年完成 3 位專家審查及主編教師編修，於 109 年完成 8 堂教學演示，共蒐集 237 份學生修課回饋問卷。
4. 於 108 年共協助 6 所大專校院及單位開設及錄影綠色化學相關課程，包括「東海大學」「高雄師範大學」「靜宜大學」「臺北市立大學」「社團法人中華亞洲環境生態護育交流協會與中原大學」，另由執行單位自行授課及推廣綠色化學課程，總計蒐集 510 份學生修課回饋問卷。
5. 108 年 11 月 12 日及 109 年 10 月 28 日辦理 2 場次綠色化學工作坊。
6. 蒐研國際及國內 2018 年至 2020 年近 3 年約 20 場化學相關競賽活動。於 108 年辦理 1 場次競賽活動規劃專諮會，以研商競賽活動內容以及推廣策略，於 108 年 11 月完成規劃第 2 屆大專校院綠色化學創意競賽規則。為鼓勵大專校院學生參與，於 108 年 8 月規劃宣傳策略並於 109 年實行，設計 1 張宣傳海報、1 本手冊、2 部短片及 1 式環保提袋，並以網路宣傳（綠色化學整合專區、Facebook、校園資訊平臺、學門、學會網站、獎金獵人與電子郵件）以及現場與活動（環工年會、海報張貼、環境教育活動、電話聯繫）推廣積極宣傳。另於 109 年 7 月、8 月分別辦理「審查規則共識會議（收件）」和「收件完整性暨複選評審會議」，並於 109 年 11 月 3 日辦理競賽決選及大專組、研究組評審會議。
7. 為設計綠色化學整合專區包含安全替代相關資訊平臺，於 108 年 6 月至 8 月蒐研國際與國內綠色化學教育網站平臺，國際平臺包含美國化學學會(ACS)之綠色化學專區、超越良性、歐洲 CHEM21 線上學習平臺、德國綠色化學教材網站等；國內網站平臺則為臺灣化學教育、綠色化學創意競賽網、科學 ONLINE。而於期刊方面由 JCR 網站蒐集 2019 年排行前 20 名之「綠色與永續科學暨科技」領域的期刊。

二、化學物質安全替代

1. 參考目前國際上政府、國際組織或研究機構，包含美國加州消費性產品安全計畫、美國州際化學品訊息交換中心、美國環保署環保署環境設計、德國聯邦環境部「替代化學品指引之替代評估指引」等，對於化學安全安全物質之評估提出相關建議工作內容，大致可歸納有 7 項，包括確認問題、尋找潛在替代物質、替代物質危害評估、替代物質製程功能評估、替代物質生命週期評估及篩選合適替代物質進行試驗計畫及正式執行及反饋，建議近期之安全替代規劃之參考方向為「檢討確認現行需要安全替代物質」「盤點我國產業進行替代化學研究成果」。
2. 以「對人體或環境毒性高」「產業運用層面廣泛」等原則，已篩選 6 大產業（食品容器包裝材料、紡織用品、建材與裝潢塗裝材料、汽車及其組裝零件、居家清潔用品、電子設備產品），並已彙整 12 項化學物質建議產業替代清單，包括雙酚 A (Bisphenol A, BPA)、甲醛 (Formaldehyde)、壬基酚 (Nonyl Phenol)、氯乙烯 (Vinyl Chloride)、二氯甲烷 (Methylene Chloride)、三氯乙烯 (Trichloroethylene, TCE)、正己烷 (n-Hexane)、六溴環十二烷 (Hexabromocyclododecane, HBCD)、N-甲基吡咯烷酮 (1-Methyl-2-pyrrolidinone (N-Methylpyrrolidone), NMP)、全氟烷化合物 (Perfluorinated Compounds, PFC)、六價鉻 (Hexavalent Chromium)、多溴化二苯醚 (Polybrominated Diphenyl Ethers, PBDEs) 探討其產業運用及其產業替代方案（或替代品），以及前述共 12 項化學物質的替代化學品之基礎單元製造如原料、輔助反應、催化等，以及產業應用、毒性、暴露途徑、替代方式。
3. 108 年綠色化學產業創刊年報以第 1 屆綠色化學應用及創新獎中的團體組得獎產業中「綠色安全替代類」為主軸，第二年再由第 1 屆的產業中擇取「災害防救整備」及「綠色化學教育類」進行編纂。
4. 產出適合國內執行之安全替代概念宣導簡報，研擬大綱包含前言、國內化學物質使用與管理現況、國際間化學物質安全替代執行方式與成效、國內化學物質安全替代管理現況、化學物質安全替代

評估與篩選方式、化學物質安全替代案例、我國化學物質安全替代未來發展趨勢。

三、綠色化學政策與金融策略

1. 參照化學局「國家化學物質管理政策研析」計畫，配合綠色化學 12 原則中各項原則定義，盤點篩選包含環保署、經濟部、勞動部、衛福部、教育部及農委會等六個主要相關部會及轄下之九個相關局處，彙整其推動業務與綠色化學之關聯，以產出各部會業務與綠色化學各項原則關聯圖。
2. 盤點聯合國「國際化學品管理策略方針(Strategic Approach to International Chemicals Management, SAICM)」「國際持久性有機污染物消弭網絡(International POPs Elimination Network, IPEN)」及聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)相關文件，研析國際化學品管理使用環境成本內化目標及推動趨勢，確認 UEEP 三項整合性措施及 SAICM 六項期望成果，並探討我國現行導入措施。
3. 彙整國際 10 例化學品租賃成功案例之制度及做法，針對國際所發展之化學物質管理經濟商業模式，本計畫先行研析並彙整國際化學品租賃制度做法，綜整國際化學品租賃可行商業模式，並透過契約理論與交易成本經濟學檢視化學品租賃適用性，最後參照目前國內產業推動策略現況，提出適合我國進一步發展推動化學品租賃之建議策略，並產出成果分析報告。

結 論

1. 完成臺北市、新北市、基隆市等 10 所小學之綠色化學教材推廣，估計超過 300 人參與相關活動。本年度之推廣大多由編寫教師參與或協助，教學相關回饋亦作為改進教材之用。
2. 完成 4 場小學教師綠色化學種子培訓營，皆是對於在職或職前教師深具實用的培訓課程，共計 116 以上人次參與。
3. 建立 8 堂大專校院綠色化學通識教材並試教，共蒐集 237 份學生修課回饋問卷，並有 8 成至 9 成的修課同學認同可透過教材增進綠色化學相關知識。
4. 協助 6 所大專校院或單位開設綠色化學相關課程，總計蒐集 510 份學生修課回饋問卷並產出 1 份成效報告，其中 6 所大專校院及

單位所開辦之課程獲 9 成授課學生評定為「非常同意」及「同意」透過課程能增進綠色化學相關知識。

5. 盤點產學合作資訊及研析合作內容，以科技部產學合作計畫類型最多元，因此大多數欲申請之產學合作計畫多以申請科技部之產學合作計畫為主。在產學合作計畫中，申請化材民生類的學研單位元以化學工程、材料工程、環境工程等領域較多，而產業方面則以環境衛生/污染防治服務業、半導體製造業、醫療器材製造業、生化科技研發業等為較多申請產學合作計畫之類別。產學問卷方面，填答企業及學者較希望計畫期程為 2 年至 3 年；經費為 200 萬至 300 萬/年；建議領域包含環境科學、化學工程以及材料科技；較期望計畫可符合綠色化學 12 原則之防廢、再生、節能、低毒。
6. 2 場次「綠色化學工作坊」會議，會中產、官、學、研等各界專家學者針對「環境教育」「低毒安替」「綠色金融」等三項綠色化學主題及七項關鍵子課題，提出 23 項現行可行推動措施及未來規劃建議。
7. 蒐集 2018-2020 年，近 3 年國際綠色化學相關會議資訊，歷年持續辦理之國際會議分別為「國際綠色化學研討會(ICGC)」「美國化學工程年會(AIChE Annual Meeting)」「綠色及永續化學研討會(Green & Sustainable Chemistry Conference)」、國際化學教育學術研討會(ICCE)、化學教育雙年會(BCCE)、綠色化學及工程年會(GC&E)。
8. 已蒐研國際及國內 2018-2020 年近 3 年約 20 場化學相關競賽活動。本屆競賽共計 46 組參賽隊伍報名，來自 27 所學校、40 個相關科系。評審委員依據決選作品的可行性和創意性，經過現場展示與面談後，最終結果在委員獲得一致共識後出爐：大專組得獎作品分別為金獎—臺灣大學「蜂巢式光纖反應器消除飛機艙內空氣細菌病毒」、銀獎—宜蘭大學「豆渣雙循環再利用產出高值化大豆精華面膜」、2 名銅獎為中興大學「水熱法製備不同氧化鋅型態於環境友善農業抗菌之研究」及高雄師範大學「利用臺灣特有農產品廢棄物合成奈米銀粒子進行汞金屬感測器之綠色化學研究」；研究組得獎作品分別為金獎—成功大學「廢棄菱角殼之循環經濟」、銀獎—臺北科技大學「希望在身，攜望傳訊」、2 名

銅獎為成功大學「化學鍍鎳廢液分離回收磷、鎳之研究」及清華大學「太陽能驅動全方位友善無藍害 OLED 照明」。

9. 於 108 年 11 月 27 日初步建置綠色化學整合專區包含安全替代相關資訊平臺，持續更新網站之綠色化學相關知識內容。
10. 彙整國際安全替代評估原則，歸納得知 7 大項原則，包括(1)確認問題、(2)尋找潛在替代物質、(3)替代物質危害評估、(4)替代物質製程功能評估、(5)替代物質生命週期評估、(6)篩選合適替代物質進行試驗計畫、以及(7)正式執行及反饋，可作為我國建立安全替代評估流程、安全替代作業準則之參考。
11. 產出 12 項化學物質於食品容器包裝材料、紡織用品、建材與裝潢塗裝材料、汽車及其組裝零件、居家清潔用品、電子設備產品等 6 類消費性產品產業使用現況，及彙整安全替代實例或研究成果。
12. 彙整國內各部會與綠色化學相關策略，包含建立知能、產業導入、跨步合作以及國際交流，並擬定綠色化學準則。
13. 盤點聯合國「國際化學品管理策略方針」「國際持久性有機污染物消弭網絡」及聯合國環境規劃署相關檔，完成彙整美國、德國、法國、日本等 4 個國際先進國家其化學物質管理成本內化現況。根據研析成果，目前環保基金與環境責任保險為國際遂行環境與經濟之平衡，實施「環境外部成本內部化」之常用工具，鑒此，我國未來可考慮透過毒性及關注化學物質管理法修正後新成立之「毒物及化學物質基金」，輔以現行之「毒性化學物質運作責任保險辦法」，形成管理我國化學物質運作時可能產生之環境外部成本及潛在風險之共同架構。
14. 整理 3 類 49 項臺灣現有綠色環保產品相關標章，研析標章制度及內容，並比較我國環保標章、臺灣製產品 MIT 微笑標章及德國藍天使標章之異同。以綠色化學原則各項措施推動環保標章，將可產生效益成果：1.提升一般消費者宣導效果；2.結合公民營企業綠色採購；3.納入綠色金融措施。
15. 蒐集埃及、塞爾維亞、斯里蘭卡等 10 處國家或地區之成功推動案例，並完成化學品租賃案例簡報編撰。
16. 本計畫參照 SAICM 計畫提出 5 項高關注化學物質之社會經濟分析成果與未來策略建議，以作為我國未來擴大推動之依據，5 項

高關注化學物質分別為：(1). 全氟辛酸(PFOA)及其鹽類；(2). 汞；(3). 1-甲基-2-吡咯烷酮(NMP)；(4). 甲醛；(5). 鄰苯二甲酸酯。

建議事項

一、綠色化學教育推廣

1. 小學綠色化學教育未來推動策略：

(1) 短期建議：

I. 逐步擴大種子師資培訓

本計畫種子師資培訓宥於人力與作業期程，種子師資培育多在北部舉行。後續可逐步朝向中、南、東部，循相同模式擴大辦理。

II. 將所發展教材上網，鼓勵試教，蒐集回饋意見，持續將教材優化與普及化

將本計畫所發展的教材上網，提供有意願採用的教師適當的支援，包含，教學材料、場地、諮詢等，鼓勵進行試教，並由其回饋意見逐步優化相關教材，同時可加速本教材之擴散。

(2) 中長期建議：

I. 國小綠色化學教育，可針對自然領域與科展模式進行深化

未來計畫可深化自然領域教學教材研發及師資培育，並能多能研發動手做的教材、教具，並鼓勵結合科展題目的發展，可以吸引更多師生瞭解綠色化學的內涵。

II. 綠色化學小學素材之發展，需提供更多的指南，吸引更多教師投入

在小學階段之課程內涵，雖有化學相關要素，但並無特別針對化學領域規劃相關學習重點。倘使能發展綠色化學的學習主題與實質內涵，並對各學習領域進行盤點，標示出各領域哪些單元可發展哪些主題與實質內涵，將可使授課老師更能掌握綠色化學融入之要旨，規劃更適合的融入方案。

III. 融入式教材之發展，未來宜朝短時間的小活動方向規劃

本年度為達成 120 分鐘之主題課程，需設法進行跨領域的課程規劃，難度較高，且需多方條件配合才容易達成各領域的課程執行。建議未來可以嘗試發展 10-20 分鐘的小活動，使授課老師視需要彈性融入不同領域，可降低綠色化學小學教材的擴散阻力、擴大推廣層面。

IV. 所發展跨領域課程，未來可進行相關實證與推廣規劃

本計畫所發展七套小學綠色化學素材，本年度完成試教與初步推廣活動。可透過工作坊的方式，培訓種子師資，並蒐集相關教學現場回饋資料後，再針對課程調整。如此經過多次修正後的素材，預計將更適用不同教學者與學習者的需求。

2. 大專校院綠色化學教育未來推動策略

(1) 短期建議：

I. 持續規劃大專校院綠色化學通識教材並滾動式編修

未來可建議持續規劃大專校院綠色化學通識教材，且為避免教材內容過時或案例具有時效性，建議持續修訂教材相關內容，以確保教材內容能反映現況。若教材已經定期修訂尚有不足或內容無法配合、難以納入現有課程，建議重新編製此教材，以增進教材素質。

II. 教材依難易度分級規劃或推廣，研析教材使用原則及回饋機制

考量主編教師專精於所屬相關領域，因此教材內容規劃豐富、精實，但對於非理工科系甚或相關領域而言編纂內容可能較為艱深，建議未來教材可以內容難易度分級規劃或推廣。為瞭解使用教師或民眾對於教材的利用情形與意見，建議研析教材使用原則及回饋機制，以作為未來製作教材之參考方向。

III. 綠色化學創意競賽建議以多元管道宣傳，並可參酌建議調整活動辦理

綠色化學創意競賽建議未來持續辦理並以多元管道宣傳，以利於大專校院深耕綠色化學概念，並可參酌回饋建議調整活動細部流程辦理方式，如：競賽期程配合大專校院學期規劃；宣傳方面建議加註說明參與綠色化學競賽是否需要符合全部或僅需符合部分綠色化學 12 原則綠色化學創意競賽並可以多元之宣傳管道推廣競賽活動；競賽期程執行建議報名、收件等截止時間設定為中午 12 時，以利執行團隊可及時聯絡參賽隊伍或指導老師提醒參賽隊伍報名或交件資訊等。

(2) 中長期建議：

I. 建立綠色化學師資庫：

未來可設立大專校院綠色化學通識課程師資庫，召集大專校院教師協力推動綠色化學教育。

II. 可考慮建立綠色化學磨課師相關遠距教學作法

非同步遠距錄製教學影片，不受限於課程場地、學習時間、學習次數的優勢，較易擴展閱覽及學習綠色化學相關課程之人數，未來部分課程試教形式可考量由試教教師錄製教學影片，以建立類似綠色化學磨課師推廣綠色化學相關教材。

二、化學物質安全替代

1. 建立確認安全替代物質清單指標標準

化學物質安全替代評析工作是持續且龐大的任務，因涉及不同領域專長，如化學研究、技術分析、風險管理等，應逐年規劃不同專案工作，並隨時以滾動式檢視列管的毒性及關注化學物質之替代必要性，進而確認是否屬於「需替代」與「可替代」的指標標準化。

(1) 短期建議：

研擬適用國內安全替代評估指標標準(Criteria)，以判定化學物質替代清單研析優先順序，可參考國際法規列管分級性、國內整體運作數量、對人體及環境危害程度評估等指標。

(2) 中期建議：

持續滾動式更新彙整國內列管項目毒化物項目、及國際規範列列管化學物質項目，並蒐集更新國外政府、研究機構、NGO 組織已執行公布之安全替代案例，掌握化學物質安替趨勢。

(3) 長期建議：

依產業別規劃區分，盤點國內化學物質運作情形及數量，掌握使用量較大之化學物質項目，以應用於相關產業之安全替代為目標。

2. 盤點我國產業安全替代成果資訊化

建立安全替代品之清單查詢系統顯得重要，可減少業者摸索時間，惟國際化學秘書處(ChemSec.org)多為歐美國家廠商資訊，若我國本土或鄰近國家替代研發產品資訊化，對於產業推動安全替代評估將更有效益。

(1) 短期建議：

可透過不同部會合作（如經濟部工業局），瞭解國內產業（化工產業為主）於因應國內外法規、指令所研發之各項化學物質之安全替代品類型、特性及應用情形。

(2) 中期建議：

掌握我國安全替代研發量能，結合前揭探討產業別化學品運作情形時，蒐研有需求替代評估規劃者，可提供相關訊息，增加產業推動化學物質安全替代意願。

(3) 長期建議：

完善國內安全替代資訊平臺，蒐集或購置國際毒理、危害、安全替代品清單、國內產業研發安全替代品、國內外安全替代案例等資訊，建立於單一查詢平臺，協助產業一鍵式查詢，更有助於產業落實安全替代之推動。

三、綠色化學政策與金融策略

1. 精進現有責任保險制度與金融措施

(1) 短期建議：

I. 盤點我國化學物質管理保險現況

鑒於我國化學物質管理相關部會眾多，後續可持續掌握追蹤我國各部會對於毒性/一般化學物質管理法案中保險規範之更動。

II. 彙整國際化學物質管理保險發展趨勢

持續彙整國際化學物質管理相關保險推動面向及種類，評估適合導入我國化學物質管理架構之方案。

(2) 中長期建議：

I. 研議擴大特定化學物質承保範圍確立專屬保單可行性

搭配現行法規及市售保險商品，初步研擬擴大特定化學物質承保範圍，並提出可能費用試算結果。其後針對特定化學行業別/化學物質建立風險差異辨識模組，開發專屬保單。

II. 導入財物誘因措施強化環境成本內化成效

透過市場回饋建議，持續調整保險承保對象、範圍及費率，並結合相關財務誘因措施以達綠色化學環境成本內化成效。

2. 導入國際綠色化學金融工具或商業模式推動策略

(1) 短期建議：

I. 研議國際推動制度導入我國之可行性

建議後續除持續盤點、更新國際推動綠色化學所導入經濟誘因工具外，可先行針對其中已發展成熟之金融工具或商業模式研擬導入方案與應用產業。

II. 擇定示範案例導入激勵措施

篩選我國已具成功推動綠色化學金融工具或商業模式經驗之產業業者做為示範案例，導入相關政策輔導或激勵措施。如依毒性化學物質運作獎勵辦法為法源依據，頒布綠色化學相關獎項，或研議規劃於綠色公共採購中納入綠色化學績優業者等。

(2) 中長期建議：

I. 協助訂定綠色化學標準結合綠色金融工具

協助明確綠色化學與綠色金融工具/綠色商業模式之關聯性，評估綠色化學業者結合現有市場金融工具之可行作業流程與規範，以利後續導入金融主管機關現有產業輔導財務策略及市場發展成熟綠色金融工具。

II. 整合既有措施擴大推動綠色金融策略

持續透過跨部會會議與中央金融主管機關進行協調，修訂既有綠色金融工具相關之作業要點，納入綠色化學推動產業範疇，並由金融主管機關出具信用保證，協助中小型企業取得轉型之資金。此外綠色化學認證亦可作為上市櫃公司申請綠色財務工具（授信、融資、債券、指數）之依據，以有助於民間投資機構確認投資標的。

3. 完善化學物質安全替代成本效益分析

(1) 短期建議：

I. 協助評估安全替代物質清單及替代方案之成本效益資料

建議我國主管機關後續可持續導入成本效益分析工具，界定標的欲推動安全替代之高關注化學物質範疇及替代方案選擇。

II. 推動業者主動揭露安全替代成本資料

於界定標的欲推動安全替代之高關注化學物質範疇及替代方案選擇後，協調運作者揭露各項分析資料項目，如資金成本、營

運成本等各項經濟面成本，以利主管機關得以將前述資料納入成本效益分析之成本與效益項目。

(2) 中長期建議：

I. 協助量化標的化學物質環境風險

可針對標的欲推動安全替代之化學物質，透過常用分析方法（如衝擊路徑法）及常用估算公式（如排放量轉換函數及劑量反應函數）進一步瞭解該物質擴散、傳輸與暴露將造成之環境損害，以完善各項量化成本後進行社會成本與社會效益評估。

II. 計算成本效益總和篩選安全替代方案

於建立各項範疇界定（包括環境問題簡述、替代方案選擇、評估範圍界定、基準情境建立，以及風險與不確定性之認定）及取得各項環境、經濟及社會量化之成本及效益後，即可進一步於完成計算成本與效益現值，及執行敏感度分析與加權成本分析等步驟後，依據常用之選擇準則（如淨效益現值、益本比或內部報酬率）挑選對於社會可產生最大淨效益的可行安全替代物質或替代方案。