
芝加哥大學的生命科學高等研究人才 養成教育

褚志斌

芝加哥大學明美癌症研究中心

摘 要

二十一世紀是生物科技的世紀，而唯有具備數量充足的優秀生命學人才才能支撐生物科技產業的研究與發展。對於尋求產業升級與轉型的台灣，如何培養生命科學領域高等研究人才便成為十分重要的議題。芝加哥大學為美國傳統名校之一，其生命科學領域之研究有著悠久的歷史與傑出成果，曾有多位諾貝爾生物醫學獎得主的重要工作在此產生，故其培養生命科學高等研究人才之方式十分值得我國研究與參考。故本文依據現況介紹、學生選取、師資分配、經費籌措、課程設計與研究訓練等六個部分，介紹芝加哥大學生命科學領域的研究生培訓方式，以期提供台灣各大學生命科學領域研究生培訓方式之研究改進的參考。

前言

1871 年美國中部最大城鎮芝加哥發生大火，大火燒毀了大半的市區，也燒毀了之前存在的舊芝加哥大學。1890 年，現在的芝加哥大學由金融鉅子洛克菲勒 (John D. Rockefeller) 重新創立，與舊的芝加哥大學沒有關聯，並於兩年後開始招生。私立大學的芝加哥大學雖然沒有工學院，但是卻非常重視物理、化學、生物與醫學等方面的研究：有 78 個諾貝爾獎得主和芝加哥大學有關連，亦即曾在這擔任過學生、教授、或是研究員，其中 11 人為生物醫學獎得主。許多重要的生物醫學研究，例如利用 X-ray 治療癌症、利用抑制

荷爾蒙的方式治療攝護腺癌和乳癌、或是研究細菌基因的調控等都在芝加哥大學完成。芝加哥大學附設醫院也是大芝加哥地區數一數二最優秀的醫院。目前芝加哥大學教授有 2160 人，大學部有 4400 人，研究生有 9000 人，其它員工(含醫院員工、研究員、技職員工等)有 12460 人。由於二十一世紀乃是生物科技的世紀，而台灣更期望在半導體與電腦資訊產業之後，再創生物科技產業的奇蹟，因此對於如何培育優秀的生物科技產業相關人才，就成為台灣重要的課題。芝加哥大學身為美國傳統名校之一，其培植生命科學相關人才的方式，應頗有值得台灣借鏡之處。

壹、芝加哥大學生命科學系所現況

芝加哥大學生命科學院(Biological Science Division)分成醫學院(Pritzker School of Medicine)和生物學院。生物學院含生物醫學(Biomedical Science, 含癌症生物所、免疫所、微生物所、分子新陳代謝與營養所、病理與分子醫學所)、達爾文生物(Darwinian Science, 含生態與演化所、機體生物與解剖所、演化生物所)、分子生物(Molecular Bioscience, 含生化與分子生物所、遺傳所、發育生物所、人類遺傳所、分子遺傳與細胞所)、神經生物藥學與細胞生理(Neurobiology, Pharmacology, and Cell physiology, 含神經生物所、藥學所、細胞生理所、計算神經生物所)、健康研究所(Health Studies)、醫學物理學(Medical Physics, 含輻射所、輻射與細胞腫瘤所)和眼科與視覺研究所(Ophthalmology and Visual Science)。教授、副教授與助理教授合起來超過 350 人, 每個教授底下尚有數名資深研究員(Senior Researcher)、博士後研究員(Postdoctoral Scholar, Postdoctoral Fellow)和研究助理(Technician)。由於芝大各個生物系所規定雖有些微不同, 但大原則都一樣, 因此今天以癌症生物所(Committee on Cancer Biology, 之後簡稱癌生所)為範本介紹芝大生命科學高等研究人才的養成教育。

貳、學生的選取

如同許多美國其它名校一樣, 芝大認為爭取優秀的學生入學是維持學校聲譽與

水準最重要的因素之一, 因此費盡心思選取好學生。癌生所每年有上百名來自美國國內和各國的優秀大學畢業生申請入學。所上的助理會先過濾資格不符者(如托福或成績等要求), 然後招生評審委員們會先進一步選出較優秀的候選學生。對於候選的國際學生, 若恰逢有教授要前往該國開會、觀光, 或是恰有認識的教授在該國, 則其將委託該教授以電話向其訪談(interview), 不然則以書面資料(如先前之研究成果、讀書計畫、介紹信)為準來取捨。在美國境內的學生, 則在二月底三月初分兩梯次邀請其前來芝加哥大學參觀並面試(interview)。這面試是整個生物醫學領域下屬癌症生物所、免疫所、微生物所、分子新陳代謝與營養所、病理與分子醫學所共同舉辦。

面試過程, 學生被招待住在市區的高級旅館, 由所上的學長學姊負責招待並且介紹系上現況與芝加哥市的生活。每個學生來訪談之前被要求選出四名有興趣見面的教授, 系上會斟酌其意願, 選出對其面試的四個教授。在所長(committee chairman)介紹所上況後, 由一些教授分別介紹其研究現況, 以增進學生對生物醫學各系所內研究概況的了解。之後有一個全所師生與候選新生共同參與的家庭式晚宴, 讓學生能較自在地詢問想知道的細節。隔天是半天密集第四個教授面試, 教授會主動介紹研究內容、詢問學生的意見與看法、了解學生的個性與專長, 用開放討論的方式進行。之後四個教授會將結論

匯報給招生評審委員會取決。然後是所上現有學生以海報(poster)的團體方式報告研究進展，讓候選新生了解進來後的研究生活是什麼樣的情況。面試過後一週內便會通知被錄取的新生。兩梯次面試會面試約 80 名美國國內學生，錄取(含國際學生)約 40 名。由於多數優秀學生也會到東西岸各名校面試，且大家錄取的學生類似，因此各學校對學生的爭取非常激烈且積極。面對這種嚴苛的招生競爭，芝大以增加獎學金、招聘有潛力之優秀年輕教授、鼓勵舊生與尚未做決定之入選新生聯繫等方式增加新生報到率。與台灣不同的，是美國多數大學有許多來自各國的留學生。

芝大生命科學領域招收之新生(博士生和醫學院學生)非常多元化。2005 年新生中有 60%為女性，11%為少數種族(非裔美國人、拉丁裔美國人或國際學生)。若不計算醫學院，生命科學各系所約有 1/4 至 1/3 的學生為外國學生。由於美國人普遍數學能力不佳，因此較不需要使用數學的生物便成為美國學生喜愛研讀的領域，也因為美國學生眾多，加上許多獎學金與研究補助限定必須是美國公民或具有美國居留權者，因此使得生物領域招收的外國學生相較於物理、化學或數學少得多。外國學生多數來自中國，其它包含印度、德國、韓國等。近年來來自台灣的學生非常少。

參、師資的分配

誠如前面所述，生物學院與醫學院的教授、副教授和助理教授加起來超過 350

人。每個教授大多由兩個或以上的系所合聘，因此每個所都有十幾至三十個教授。然而，學生選擇指導教授非常自由。新生入學的前半年，各所會單獨或共同安排每週兩次、每次約一小時的時間，讓所上的教師們可以向學生簡報其最新的研究主題與研究興趣。這種互動式的演講是讓學生可以更瞭解教師，以便選擇往後的指導教授。但是指導教授的選擇卻不只侷限於自己系所內，也就是整個醫學院和生物學院三百五十多名的教授，只要自己有興趣且對方願意接受，都可以選擇當自己的指導教授。這提供了學生非常寬廣的選擇空間。學生更換系所也不甚困難，只要提出申請，原系所與新系所同意後，即可更換，原先修過的學分依然有效。由於生命科學的研究往往牽涉到許多不同領域，很難以單純的病理、生化或生物統計等來區分，加上學生入學接觸各領域後可能興趣會改變，因此讓學生有寬廣的選擇指導教授空間，可以使學生能依自己的興趣選出最適合自己的實驗室來進行研究生涯。

肆、經費的籌措

由於芝大生命科學領域提供博士班學生二年全額獎學金，除了替學生繳交每人每年約 35,000 美金(約新台幣 110 萬)元的學費和 1,500 美金(約 4 萬 8 千元新台幣)的學生健康保險之外，另外提供全額獎學金。獎學金逐年隨美國健康院(National Institute of Health，相當於台灣的國科會)指定的標準與其他名校的給付調整。由於

各名校互相競爭好學生，因此往往會相互以較高的獎學金來吸引學生。芝加哥大學生命科學領域給的博士生獎學金在 1999 年是 16,000 美金 (約 51 萬新台幣)，2000 年是每年 19,000 美金，(約 60 萬新台幣)，2005 年秋天起為 24,000 美金(約 77 萬新台幣)。扣除 14%左右的所得稅扣稅和學生會費用後，2005 年學生每月約有 1,700 美金 (約 5 萬 4 千元新台幣)，學校附近房租單人房每月約 800 美金(約 2 萬 5 千元新台幣)，飲食消費每月約需 400 美金(約 1 萬 3 千元新台幣)，因此每月約有 500 美金(約 1 萬 6 千元新台幣)可供學生用做其他用途。

學生因為拿獎學金，因此在畢業前須擔任至少兩個學季(美學季三個月)的助教，這可以說是義務，也可以說是訓練學生教學經驗。在實驗室做研究不另外提供獎學金。學生唸博士班超過第五年後，獎學金不得繼續隨同其它人調漲，這是為了給予學生壓力，讓學生能儘早畢業離開學校。芝大生命科學系所的原則是盡可能讓學生在五、六年內完成研究並畢業，這樣學生可以進行下一階段人生規劃，系所也能利用經費招募新生。學生的獎學金是系所龐大的負擔，學生前兩年由系所提供全額獎學金。系所會經由國家健康院補助、學校補助、申請私人之學生訓練基金(training fund)和研究基金、邀請廠商捐贈並邀請有錢人參加慈善義賣(auction)與接受私人捐贈等方式募集資金，各系所會成立半獨立的資金籌措委員會來管理資金之募集。籌措之資金多寡也將影響能招生之

名額。第三年後學生進入各實驗室做研究，其學費四分之三由系所負擔，四分之一由指導教授負擔，而每月之獎學金則由教授負擔。教授會協助學生申請校外之獎學金或由自己研究計畫中提供獎學金，因此教授的研究經費影響其能收的研究生數目。

伍、課程的設計

芝大生命科學系所的課程設計十分簡單。所有學生都要修習少數的必修課，如細胞生物、分子生物、生物化學、遺傳學等。芝加哥大學因為是學季(quarter)制，每學季約三個月，因此有的課開一學季，有的課開兩學季，每一個學季的一門課為一單位，畢業要求之學分為若干課程單位。除了共同必修課之外，各系所會針對自己的研究方向開各系所的必修課。以癌生所為例，其開設癌症生物一至癌症生物五，分別是癌症生物導論(Introduction to Cancer Biology)、癌症遺傳分子機制(Molecular Mechanisms in Cancer Biology)、訊息傳遞和細胞週期調控(Signal Transduction and Cell Cycle Regulation)、今日癌症研究(Frontiers in Cancer Research)、論文導讀(Introduction to Experimental Cancer Biology)。其中，今日癌症研究在學生博二那年以三個月的時間，訓練學生選擇題目、設計研究方向與實驗方法，並書寫研究計畫。這一方面是為了學生博二暑假第二階段資格考準備，同時也是訓練日後學生若成為教授後

能獨立書寫研究計畫申請研究經費。而論文導讀是博一博二兩年都必修的課程，每週由教授選擇癌症研究頂尖期刊(如 Science、Nature、Cell 等)的論文兩篇，由學生先閱讀後，老師帶領逐一針對論文中的實驗方法和實驗過程與學生討論。這是讓學生熟悉各種實驗技術與實驗設計，並了解如何設計對照組與分析實驗誤差和實驗結果。也讓學生能對最新的癌症研究議題有所掌握。所有的課程，都集中在博士班前兩年，加上兩至三個實驗室實習(rotation)，學生需要 9.5 個課程單位方能畢業。各所不另外開設實驗課，學生再實習中學習基礎的實驗技巧。

除了一般課程之外，尚有學者演講(Research Seminar)、期刊論文研討(Journal Club)和學生研究報告(Student Research Seminar)。學者演講為每週邀請各名校有成就之癌症生物專家前來演講其最新研究，演講後學生會有一小時和演講者對話，這樣是讓學生可以接觸各大師，增廣見聞。期刊論文研討是每個月，學生輪流自行從頂尖的期刊選擇自己有興趣的一篇論文報告，報告內容包含該研究領域背景介紹、該篇論文導讀、分析各個實驗，研討為時一小時，所上提供午餐。學生研究報告則是每兩週，輪流由兩個學生各半小時，報告自己的研究進展。其目的在於讓學生間能熟悉彼此的研究內容，也能見識同學、學長姐、學弟妹的研究進度，從而自我鞭策努力。所上提供晚餐。

陸、研究的訓練

研究的訓練是高等研究人才養成教育中最重要的一環。芝大生命科學領域的學生在選擇指導教授前，至少需要進入兩個或以上的實驗室實習(rotation)。每個實習為期一學季。實習時，教授會指派博士後研究員或是年長的博士班學生帶領新生，讓其參與某個研究議題進行研究。新生要和實驗室成員一起參與實驗室定期的討論會(lab meeting)。討論會有的是自己實驗室討論，有的是數個實驗室討論，有的是同樓層所有實驗室參與討論。學生要與教授討論，但結束實習時不需要繳交書面或口頭報告。實習沒有成績，只有通過與不通過，由教授決定。實習最主要的目的，在於讓學生認識該實驗室的真實情況，並讓學生學習基礎的實驗技巧。因為經由書面資料或報告，學生雖然能知道教授的研究領域和研究興趣，但是無法真正了解教授的為人，也無法知道實驗室同仁間相處的氣氛，因此為了讓學生不會在選定指導教授進入實驗室後適應不良，因此先要求學生應藉由實習來了解自己是否適合該實驗室。部分學生會選擇在入學前的暑假，就先到學校進行第一個實習，這樣可以更快找到喜歡的老師和實驗室。

第一年暑假，學生需要進行第一階段博士資格考(preliminary exam)，各系所的方式雖略有出入，但幾乎都是先由出題委員會出五道題，其中兩道為必選題，另外三道題中須選出一題作答。考前一天至兩週不等的時間(視各系所規定)前會將試題

交給學生，同時會交給學生數篇參考論文。學生依據該些論文、和先前修課所學，以及自行從網路查詢到之資料，準備兩張投影片，然後考試當天由三名考試委員組成之委員會口試。委員會之組成乃隨機選定，考前三天通知學生。考試委員聽取學生回答三題題目時，可以自由詢問問題，也可以詢問任何有關連之其它問題。詢問的目的在於了解學生是否已有必備的學養與程度，以及是否對基礎的實驗技巧有所認識。考題幾乎都是最新的研究領域，很多是尚未有定論的問題，出題偏重於測試學生能否針對科學界最新的研究題目與爭議，提出假設並設計實驗來驗證自己的假設。因為大多數都是沒有定論的研究主題，因此沒有標準答案，只要學生設計的實驗符合邏輯，能說服考試委員即可。未能通過第一階段資格考的學生會由該三位委員建議是應選修某些課程補強基礎知識或是擇期再針對該三題題目重新作答。若第二次仍未能通過考試，則修滿必要學分後頒予碩士學位後令其離開。

第二年暑假則進行第二階段博士班資格考(qualifying exam)，在考試之前學生必須先選定未來之指導教授與實驗室，也必須選定未來要進行之博士論文研究主題，然後針對研究主題提出數個假設、設計實驗、引用他人之研究結論與實驗室先前之研究結果，然後設計出一個研究計畫(proposal)，以口頭報告的方式進行第二階段考試。考試前必須選定包含自己指導教授在內的四至五位教授擔任口試委員

(thesis committee member)，這些教授們也是日後博士畢業論文口試(thesis defense)的口試委員。學生應委請委員中的一位(非指導教授)擔任口試委員會的主席(thesis committee chair)。口試委員的選定由學生和指導教授共同討論，以具有能夠協助自己未來的研究計畫內容之專長者為主。口試委員會決定學生提出的博士論文研究計畫是否可行，若不可行將要求更改直到可行為止。

一旦第二階段資格考通過，學生將正式開始進行研究，然後每半年至一年，需要向口試委員們報告一次研究進度。這種報告的目的在於確保學生持續研究的進行、確保學生的研究方向沒有偏差、確保學生能順利畢業、確保學生使用正確的方法解決研究上的問題。許多學生在實際著手進行研究後，會發現當初的假設需要大幅度修正，因此便需要和口試委員們討論重新修改研究方向。芝大生物領域的博士生要畢業的要求很簡單，只要求修完規定之課程，並沒有規定一定需要發表期刊論文或計算點數，而由指導教授和口試委員們把關。一般來說，絕大多數學生畢業前都會發表至少一篇的第一作者期刊論文，且會完成提出的研究計畫。一旦口試委員會主席認為學生已經完成研究計畫，便會向學校提議學生可以開始書寫博士論文，此時學生便成為博士候選人(Ph.D. candidate)，完成博士論文後，通過公開形式的口試便可畢業。因為能否口試必須由口試委員會同意，且口試前所有研究內容

都已經反覆報告給口試委員通過，因此大多數口試都已經是形式化，能被同意公開口試，大多數表示口試委員會已同意其畢業。

結論

台灣目前各大學正致力於向上提升整體教學及研究品質，以期擠身世界百大名校。研究成果之好壞，與教授能否提出重要而獨特的研究議題與良好之實驗設計、論文能否用流利之英語書寫、研究經費之多寡、研究設備之良窳和研究生素質之好壞都有很大的關聯。芝加哥大學生命科學院允許學生有極大自由度的選擇指導教授、要求學生成立口試委員會定期報告研究進度、高額獎學金和多管道尋求經費等皆是台灣各學府可以參考學習而引為己用之處。當台灣各大學爭取到卓越計畫龐大經費，大筆投資研究設備並高薪聘用知名學者講學之時，其實更應考量如何吸引優秀學生就讀基礎科學系所。台灣多數優

秀學子往往基於就業考量，而選擇醫學院或工學院，且多數研究所畢業後便進入就業市場而遠離學術界，這樣無助於提升台灣的研究水準。而台灣博士生每月一萬二至兩萬四不等的獎學金，不但遠低於美國各大學，也遠低於就業市場。過低的獎學金，使得博士生基於經濟，無法專心致力於研究，須到外面兼差，或是改行就讀較有出路的醫學院或工學院。若這樣的情況無法改善，就算能找無數諾貝爾獎得主回台教書，在沒有優秀研究生協助研究的情況下，台灣各個大學將無法有效提升整體研究水準。因此建議台灣各大學基礎科學系所，參考美國各大學之做法，努力改善研究生經濟狀況和研究環境，才能收事半功倍之效。

誌謝：謹以本文獻給我摯愛的父親褚德三教授和母親李麗珠女士。數十年來父親在台灣從事科學教育與物理研究不遺餘力，我深受影響與啟發。