

國立臺灣大學生物資源暨農學院

生物環境系統工程學系

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources And Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

自製濁度計量測三種微藻濃度變化之研究

Measuring the Concentration of Three Microalgae

Using Self-Made Turbidimeter

吳尚容

Shang-Rong Wu

指導教授：侯文祥 博士

Advisor : Wen-Shang Hou, Ph. D.

中華民國 99 年 7 月

July, 2010

謝 誌

兩年的研究所生涯，讓我逐一拾起過去卅三年所遺失的部分，今後的人生將益加茁壯與充盈。論文寫作的這段期間，像是重新體會了一次人生，是非對錯、冷暖自知。論文的誕生，有許多的感謝要大聲說。

感謝指導教授 侯文祥老師在專業領域的引領與生活態度的啟發；不曾和您一同參加遠境活動，至今仍感遺憾。感謝口試委員 陳弘成教授、喻新教授、周楚洋教授的卓見與斧正，讓學生的論述更臻完善。特別感謝 謝正義教授在專題討論課程中分享學習心得，並在口試時對論文的指正。

感謝基隆海事 趙文榮老師，不僅提供實驗用微藻更指導學生許多微藻相關知識與技術，使學生能在新的學習領域中快速前進。

感謝 張斐章教授給學生的寶貴意見，並慨然提供實驗場地與設備。感謝農工中心環境組張大偉博士，以及玉縹、美禎、慧珠、秀美幾位美女在實驗過程的指導與經驗分享，您們的協助讓論文實驗數據精確可靠。

感謝同學軒榮、永豐、國豐、仲良、佳真在兩年研究生期間的同甘共苦，及論文寫作過程中的鼓勵與互相漏氣。此外，亦感謝研究室的學姐青晃、俊嘉、泰斗、宏宇、以容、德慧的指導與建議。

感謝好友詠青、阿民的鼓勵並協助校稿工作；感謝李嘉亮先生熱心介紹藻類培養的優秀老師；感謝好友政廷、俊宏指導微控制器程式寫作與電路圖設計。

感謝爸媽、大姊、小弟、岳父母還有關心我的長輩們，您們的關懷與鼓勵是我完成論文的重要力量。

最後感謝辛苦的老婆，不僅給了我一雙可愛的寶貝兒女，更在研究所期間扛起家計重擔，為了老公的理想讓妳付出青春的代價，真為難妳了！

謹將本論文獻給親愛的家人、師長以及摯友，更希望外公外婆的在天之靈也能夠看見我的努力。

尚容 99/08/09 於 台大

目 錄

目 錄.....	I
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
摘要.....	IX
Abstract.....	X
第一章、 緒論	1
1.1 前言.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究流程.....	3
第二章、 文獻回顧	4
2.1 濁度計原理與手持濁度計設計.....	4
2.1.1 濁度之定義與影響因子.....	4
2.1.2 濁度、環境與生物之關係.....	4
2.1.3 濁度計原理與分類.....	5
2.1.4 濁度計檢驗規範與濁度單位.....	8
2.1.5 手持式濁度計介紹.....	9

2.2	微藻類物理特徵、應用與養殖.....	16
2.2.1	藻類概述.....	16
2.2.2	微藻類物理特徵.....	16
2.2.3	微藻類的應用.....	18
2.2.4	微藻類的養殖法.....	22
2.3	微藻計測常用方法.....	23
2.3.1	數量計測法.....	23
2.3.2	重量計測法.....	29
2.3.3	數量與重量計測方式之比較.....	30
第三章、	材料與方法.....	32
3.1	自製濁度計設計與製作.....	32
3.1.1	實驗材料與設備.....	32
3.1.2	實驗流程.....	40
3.1.3	濁度水樣調配與濁度測定.....	41
3.1.4	濁度與電壓之檢量線實驗.....	42
3.1.5	微控制器程式設計與濁度計組裝.....	44
3.2	三種藻類之濃度變化計測.....	48
3.2.1	實驗材料與設備.....	48

3.2.2	實驗流程.....	49
3.2.4	藻個數計測.....	51
3.2.5	藻水濁度計測.....	51
3.2.6	藻重量計測.....	53
第四章、	結果與討論.....	55
4.1	自製濁度計檢量線與成品.....	55
4.1.1	環境光干擾實驗結果.....	55
4.1.2	感測範圍實驗結果.....	56
4.1.3	成品.....	59
4.2	濁度與藻個數結果.....	60
4.2.1	周式扁藻(<i>Tetraselmis</i>).....	60
4.2.2	等鞭金藻(<i>Isochrysi</i>).....	62
4.2.3	紅球藻(<i>Haematococcus</i>).....	63
4.3	濁度與藻重量結果.....	65
4.3.1	周式扁藻(<i>Tetraselmis</i>).....	65
4.3.2	等鞭金藻(<i>Isochrysis</i>).....	65
4.3.3	紅球藻(<i>Haematococcus</i>).....	66
4.4	自製濁度計計測微藻濃度之比較與適用性.....	67

4.4.1 自製濁度計與 HACH 2100N 濁度儀之比較.....	67
4.4.2 適用性分析	71
4.4.3 自製濁度計電壓輸出分析	74
4.5 經濟性分析	75
第五章、 結論與建議.....	76
5.1 結論	76
5.2 建議.....	77
參考文獻.....	79
附錄一 市售濁度計之檢驗規範與 USGS 核定濁度單位一覽表	87
附錄二 自製濁度計電路圖	89
附錄三 自製濁度計微控制器程式	90
附錄四 市售 HACH 2100N 濁度儀介紹與計測操作流程	97

表目錄

表 2-1 濁度計檢驗規範概要	8
表 2-2 USGS 核定濁度單位一覽表	9
表 2-3 常用計數裝置適用之細胞大小與養殖密度	25
表 2-4 各種數量與重量計測方式之比較表(本研究自行整理).....	31
表 3-1 濁度感測器輸出電阻	34
表 4-1 以 S0 感測器測得之黑瓶與白瓶標準液電壓	55
表 4-2 黑瓶與白瓶之 R^2 值	56
表 4-3 感測器的濁度與電壓關係表	56
表 4-4 不同輸出電阻之感測器計測濁度與電壓能力差異	57
表 4-5 周式扁藻鏡檢結果	60
表 4-6 兩種濁度計測量周式扁藻濁度之比較	61
表 4-7 等鞭金藻鏡檢結果	62
表 4-8 兩種濁度計測量等鞭金藻濁度之比較	62
表 4-9 紅球藻鏡檢結果	63
表 4-10 兩種濁度計測量紅球藻濁度之比較	64
表 4-11 自製濁度計量測三種微藻之濁度與藻個數、藻重量分析表 ..	73
表 4-12 TBS-200(S2)感測器輸出電壓與藻個數、藻重量之相關性	74
表 4-13 自製濁度計材料成本	75

圖目錄

圖 1-1 研究流程圖	3
圖 2-1 廷德爾效應—右側杯中可見膠體溶液形成的光路徑	6
圖 2-2 單一光源之濁度計原理示意圖	7
圖 2-3 多照明光波式濁度計原理示意圖	7
圖 2-4 Hach 2100P 濁度計與 McVan NEP160 手持濁度計	13
圖 2-5 Hach 2100P 與 McVan NEP160 濁度計計測結果相關性	13
圖 2-6 HACH 2100N 及流動式樣本組示意圖(Hach Co. , 2008)	15
圖 2-7 周式扁藻(<i>Tetraselmis</i>)	19
圖 2-8 等鞭金藻(<i>Isochrysis</i>)	20
圖 2-9 紅球藻(<i>haematococcus</i>)	21
圖 2-10 顯微鏡下之血球計數器方格	25
圖 2-11 圖像自動辨識法系統流程圖(鄭, 2008)	27
圖 3-1 TBS-200 內部電路示意圖	33
圖 3-2 TBS-200 感測器製作	34
圖 3-3 德源科技微控制器綜合實驗板	35
圖 3-4 AT89S52 外觀	36
圖 3-5 ADC0804 外觀	36

圖 3-6 KM1602A 外觀	37
圖 3-7 程式開發畫面與微控制器開發板	38
圖 3-8 HACH 2100N 實驗室濁度儀	39
圖 3-9 自製濁度計設計與製作實驗流程	40
圖 3-10 調製完成的 8 瓶不同濁度水樣及 1 瓶去離子水	42
圖 3-11 環境光干擾實驗流程	43
圖 3-12 微控制器程式流程圖	45
圖 3-13 自製濁度計的開發與組裝	47
圖 3-14 藻類濃度實驗設備	48
圖 3-15 三種藻類之濃度變化計測流程圖	49
圖 3-16 藻水調製流程	50
圖 3-17 鏡檢法流程	51
圖 3-18 濁度法計測流程	53
圖 3-19 乾燥秤重檢測流程	54
圖 4-1 以 S0 感測器測得之黑瓶與白瓶電壓	56
圖 4-2 三個感測器的濁度與電壓相關性分析結果	58
圖 4-3 自製濁度計成品	59
圖 4-4 以濁度計法與鏡檢法計測周式扁藻濃度結果之關係圖	61

圖 4-5 以濁度計法與鏡檢法計測等鞭金藻濃度結果之關係圖	63
圖 4-6 以濁度計法與鏡檢法計測紅球藻濃度結果之關係圖	64
圖 4-7 周式扁藻濁度與藻重量關係	65
圖 4-8 等鞭金藻濁度與藻重量關係	66
圖 4-9 紅球藻濁度與藻重量關係	66
圖 4-10 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度比較	68
圖 4-11 不同微藻測得之濁度比較	68
圖 4-12 不計入周式扁藻數據後之相關性比較	69
圖 4-13 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度與藻個數相關性	70
圖 4-14 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度與藻重量相關性	70
圖 4-15 自製濁度計測得之濁度平均值與變異係數	72

摘要

微藻一直是健康食品的重要原料，近年更發現部分微藻含有大量油脂適合產製生質柴油，吸引大量資金投入微藻養殖產業。然而微藻養殖需要人工耗時費力進行濃度變化的檢測工作，不易達成自動生產目標。微藻皆以單一物種養殖，適合使用濁度進行微藻濃度評估，過去以濁度法評估微藻濃度時，皆以濁度計或濁度儀進行藻水的濁度檢測，必須採樣且無法連續計測；近年研發出之手持式濁度計，省去檢測過程之採樣並可測得即時濁度。

本研究使用捷騰光電公司研發的 TBS-200 濁度感測器，搭配必要之類比數位轉換元件、顯示模組、微控制器等，自製手持式濁度計。針對使用過程中環境光可能的干擾，以及感測器的輸出電阻進行實驗，決定自製儀器的計測方式與感測器規格。製作適用於微藻濃度計測的手持濁度計，其成本低於新台幣 2000 元。

本研究選擇周氏扁藻 (*Tetraselmis*)、等鞭金藻 (*Isochrysis*)、紅球藻 (*Haematococcus*) 等三種具經濟價值之微藻進行計測研究。以微藻檢測中常用的鏡檢法計測藻個數，乾燥秤重法檢測藻重量，自製濁度計及市售 HACH 2100N 實驗室濁度儀計測濁度，評估以自製濁度計計測濁度方式，監測三種微藻濃度的可行性。

實驗結果，使用自製濁度計需以黑樣本瓶進行計測降低環境光干擾；藻水濁度大於 50 NTU 時濁度讀值的變異係數會小於 10%，呈現較穩定的結果。微藻的大小對濁度影響顯著。自製濁度計的讀值低於 HACH 2100N 濁度儀計測結果；濁度與藻個數的二次多項式迴歸為正相關， R^2 值分別為周氏扁藻 0.99、等鞭金藻 0.983、紅球藻 0.976，與藻重量的二次多項式迴歸結果， R^2 值分別為周氏扁藻 0.937、等鞭金藻 0.981、紅球藻 0.963，證實本研究之自製濁度計應可作為快速評估純種微藻濃度之工具。

關鍵詞：濁度計、微藻、微控制器、低造價。

Abstract

Micro-algae have long been important ingredients of health food. In addition, considerable amount of lipid in their cells is found to be a promising source of bio-diesel fuel, therefore ever-increasing budget has been put into micro-algae culture industry in recent years.

Nevertheless, given that recording and monitoring concentration of suspending cells remain tasks performed manually, both laborious and time-consuming, the ideal goal of automated micro-algae production would be arduous to achieve.

Monoculture is the typical way adopted in micro-algae culturing, as such, turbidity is a suitable indicator in evaluating cell density of an alga-suspension. Although several kinds of turbidimeters have been available in practical use, most of them mandate repeated samplings that are inconvenient in a budget-limited, field-based, full-time monitoring program. With the handheld turbidimeter entering the market, such impediment seemingly would no longer exist, not only does it simplify routine monitoring by omitting the necessity of repeated samplings but it also can provide instantaneous and less interrupted recording data.

In this study, several inexpensive, sturdy and ready-made components including TBS-200 Turbidity sensor(Solteam Opto. Co.), Analog-to-Digital Converter(ADC), LCD module, Microcontrolling Unit(MCU) etc, are used to assemble a low-cost prototype of handheld turbidimeter. The possible disturbance of ambient light and its effect on output electric resistance of the turbidity sensor are especially taken into account on experiment designing. The prime cost of such a workable handheld turbidimeter is less than 2000 NT dollars.

Three species of micro-algae with economic potential, including *Tetraselmis*,

Isochrysis and *Haematococcus* are selected in our study. In addition to cell counts determined under microscopic examination and net weight obtained from desiccated alga mass, the turbidity data measured respectively by laboratory turbidimeter HACH 2100N and our prototype turbidimeter are compared in order to assess feasibility of the latter in monitoring micro-algae concentration.

The results reveal that to eliminate the disturbance caused by ambient light the sensor of our prototype handheld turbidimeter must be operated in a black sampling bottle. The coefficient of variation of readings is less than 10% when the turbidity is more than 50 NTU. Different grain sizes of various micro-algae species also have a remarkable influence on turbidity readings. Our prototype handheld turbidimeter shows a consistently lower reading value than that of HACH 2100N.

Analysis between turbidity readings and cell counts with quadratic regression manifests a positive correlation, the R^2 value for three micro-algae species are : *Tetraselmis* 0,99; *Isochrysis* 0.983; *Haematococcus* 0.976. The R^2 value for turbidity and net weight are: *Tetraselmis* 0,937; *Isochrysis* 0.981; *Haematococcus* 0.963. These results support the conclusion that our prototype handheld turbidimeter could be a useful tool to promptly evaluate the concentration of single-species microalgae.

Keyword: Turbidimeter, Micro-algae, Micro-controller, Low-cost

第一章、緒論

1.1 前言

微藻由於高營養價值以及高含油量，被視為能解決資源匱乏問題的明日之星，其相關之生物、生理、應用研究也快速發展，因微藻增殖快速、易培養、含有各種營養素等特點，被廣泛應用在醫藥、保養品、健康食品、環保、生物質能及水產養殖等領域(闕，2002)。早期微藻養殖方式，主要以開放式養殖為主要量產的選擇，近年的研究顯示，封閉式養殖具有生產效率高、適用藻類廣泛以及不易受汙染等優點，因此正快速發展中(謝等，2009)。

所有與微藻有關的研究中，生物量的檢測一直佔有舉足輕重的地位，過去最常以鏡檢法或薄膜過濾計數等人工方式，進行不同微藻的濃度檢測；由於前述方法耗費時間與人力，因此開始有快速檢測微藻濃度的研究，如流式細胞儀(Trask et al.，1982)、光學密度測定法(Lyon et al.，1980)或顯微圖像自動辨識(Lehman et al.，2006)等方式，減少檢測過程所需的時間與人力。

微藻養殖皆以單一物種為主毋需考慮藻種辨識，因此檢測方法可以更為簡化，目前最常見的是光學密度測定，其方式係利用分光光度計或濁度計等儀器計測數據，與鏡檢法或乾燥法的檢測結果進行迴歸分析，求得檢量線後以迴歸方程式作為推估微藻數量或重量的方式，在需要連續密集檢測微藻數量變化時，相當快速便利(Lyon et al.，1980)。

1.2 研究目的

濁度是一種可以表現水體固形物濃度的現象，當固形物濃度越高，所產生的散射光越強，呈現的水色就越渾濁，所有研究皆指出，在一般情形下濁度與懸浮固體有極佳之線性關係。濁度的量測皆使用濁度計完成，由於濁度計的檢測時間短、檢測方法簡單，因此經常被用於快速定量水中懸浮固體數量變化(Hofmann and Dominik, 1995; 侯, 2002)。

澳洲與紐西蘭政府針對淡水與海水水質的政策方針 (ANZECC, 2000)，明訂將濁度列為主要水質指標之一，並建議以可攜帶的散射式濁度計 (portable nephelometric turbidimeters) 做為測量儀器。手持濁度計 (Handheld Turbidimeter) 是可攜式濁度計之中較新的產品，使用時不需採樣，僅需將感測器置入水中即可檢測水中濁度，由於使用方便可靠度高，近年來逐漸受到重視，不僅可快速偵測水中濁度變化，部分產品能與電腦連線，進行即時的監測與控管(Hach Co., 2007)，是目前快速發展之檢測儀器。

由於微藻養殖係培養單一藻種為主，相同的養殖條件下，水中微藻的物理性質，舉凡大小、形狀、顏色等皆極為相似，可將其視為一均勻之膠體溶液。研究指出，純藻水可使用濁度計快速進行定量(Pfeiffer et al., 2000; 邱, 2007)，然市售濁度計皆屬進口產品，維修時程長且價格較高，微藻養殖無法大量採用；為此本研究興起自製之構想，以自製之手持濁度計進行微藻濃度的檢測，評估其做為微藻濃度感測器之可行性，達成快速檢測且低造價之目的。

1.3 研究流程

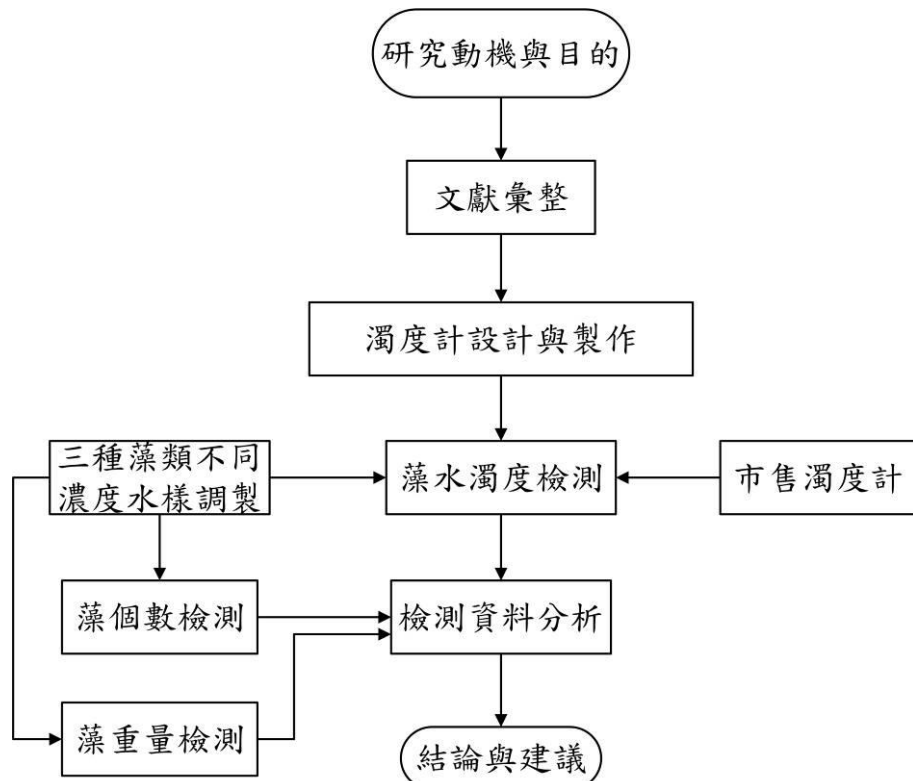


圖 1-1 研究流程圖

第二章、文獻回顧

2.1 濁度計原理與手持濁度計設計

2.1.1 濁度之定義與影響因子

濁度(Turbidity)係指水中引起光散射之懸浮顆粒的數量，包括黏土、淤泥、微生物等；美國公共衛生協會(America Public Health Association, APHA)將濁度定義為：「穿過樣品中的光發生散射或吸收光線，而不是沿直線穿透的光學特性表徵」(APHA, 1999)。

侯(2002)整理前人研究的濁度量測影響因子，包括水中固形物本身的物理性質與水體的外在環境因子，固形物本身的大小、形狀、折射率(Gordon et al, 1980)、糙度(Zerull et al. , 1974)、顏色(Sutherland et al. , 2000)以及水中所含氣泡(Greenwood et al. , 1990)與流速(Krause and Ohm, 1984)都會影響濁度；固形物本身屬於有機或無機物質對濁度的影響會因不同濁度儀器而有所不同，此外不同儀器對相同粒徑但不同濃度的水樣，其檢測結果會呈現不同斜率(侯, 2002)。

2.1.2 濁度、環境與生物之關係

高濁度水體中的藻類因為光線不足成長受到抑制，沉水植物亦因此難以生長，從而影響依賴它們的物種(Stevenson et al. , 1988)；值得一提的是，在高濁度的水域周圍，水面與岸際植物因為競爭減少而能夠大量吸收水中的營養物質，快速成長(Sobolevl et al. , 2009)。

水中無機顆粒，包括無機營養物與泥沙顆粒，對於藻類的抑制效果高於其所含營養物質的貢獻。當濁度超過 40NTU 時，水中的藻類會因為

光線不足使成長明顯受到抑制(Sobolevl et al. , 2009)。部分水域如紅樹林、河川下游地區，略高的濁度有助於魚類幼體躲避天敵捕食；穩定的濁度亦是維持水生生態系統的重要條件之一。

水產養殖業經常以養水素或豆餅搭配益生菌方式提高養殖水的營養狀態，使藻類與微生物大量增生，稱為做水色，藉此降低池畔活動對水產生物的驚擾，同時讓高度優勢之有益微生物避免有害的微生物或藻類增生，提高育成率(趙等，2003)。

天然水體之透明度、水溫、鹽分、溶氧、營養鹽，乃至於其中之水生生物具有一定型之一片水域稱為水塊(Water Mass)，當水塊中特定藻類突然大量增生，使水面顏色改變者稱為藻華或赤潮(Red tide) (袁，1987)。特定藻種形成的藻華如渦鞭毛藻(*Dinoflagellates*)、矽藻(*Bacillariophyceae*)、夜光蟲(*Noctiluca*)形成的赤潮，冷水性之角毛藻(*Chacetoceros*)、盒型藻(*Biddulphia*)、海毛藻(*Thalassiothrix*)形成的厄水，夜光蟲形成的苦潮等。藻華形成的區域或因日夜溶氧變化劇烈，或因大量藻類死亡釋放藻毒，更甚者嚴重危及人類健康，是嚴重的環境與公共衛生問題(趙等，2003)。

2.1.3 濁度計原理與分類

量測濁度的儀器稱為濁度計(Turbidimeter 或 Turbiditimeter)，其設計構想主要源自廷德爾效應 (Tyndall Effect)。該效應係描述光線通過膠體溶液時，會與粒徑小於光波長的微細粒子碰撞，使光線改變運動方向形成散射(Scattering)現象，因而產生肉眼可視的光路徑(黃，2007)。圖 2-1 左側杯中裝真溶液，光線通過時不會產生散射光；而右側杯裝膠體溶液，光線通過時與微細顆粒碰

撞形成散射光，因此產生可見的光束。

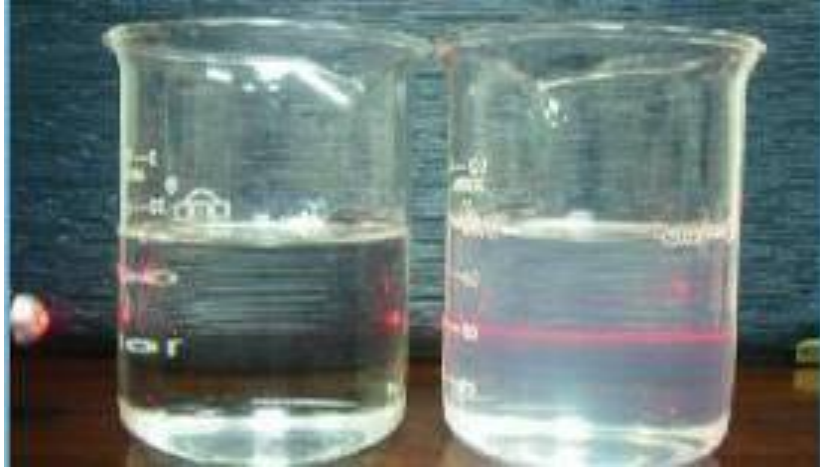


圖 2-1 廷德爾效應—右側杯中可見膠體溶液形成的光路徑

(圖片來源：葳特妮奈米生技)

濁度計即是利用一光源投射至水體，經由光感測元件接收散射光後，以散射光的強弱作為判定濁度高低之依據。最早的濁度計是 1900 年由 Jackson 發明的燭光濁度計(Candle Turbidimeter)，之後陸續有不同感測原理且更精準的濁度計問世；侯(2002)與王(2006)整理當時市售的濁度計規格，依據市售產品設計原理不同，分為散射式(Nephelometric)、透射式(Transmittance)與比值式(Ration)三種。而 Anderson(2004)除了前述三種之外，另外分類出背向散射式(Backscatter)與多照明光波式(Multiple Illumination Beam Light Source)的設計原理，不同設計原理適用之濁度範圍亦不相同。

圖 2-2 表示單一光源之濁度計所使用之原理，包括散射式、透射式、背向散射式與前向散射式等方式，而比值式原理係透過 90° 散射光、背向散射光與 180° 透射光之比值而得；圖中光源監視器係針對濁度計光源進行監測或截斷，藉此提高感測之準確性，屬於較新的設計構

想。圖 2-3 以 GLI Accu4 為例說明多照明光波式之原理，該濁度計有兩個光源與兩組感測器，可感測極低濁度(<1 NTU)，入流與出流設計方式尤其適合工廠之液體原料與產品品質監測使用。

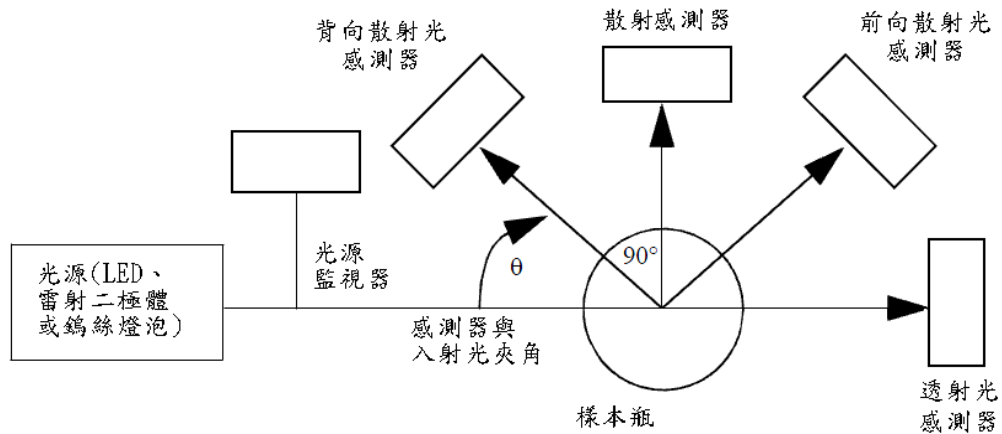


圖 2-2 單一光源之濁度計原理示意圖

(Anderson, 2005, 本研究整理)

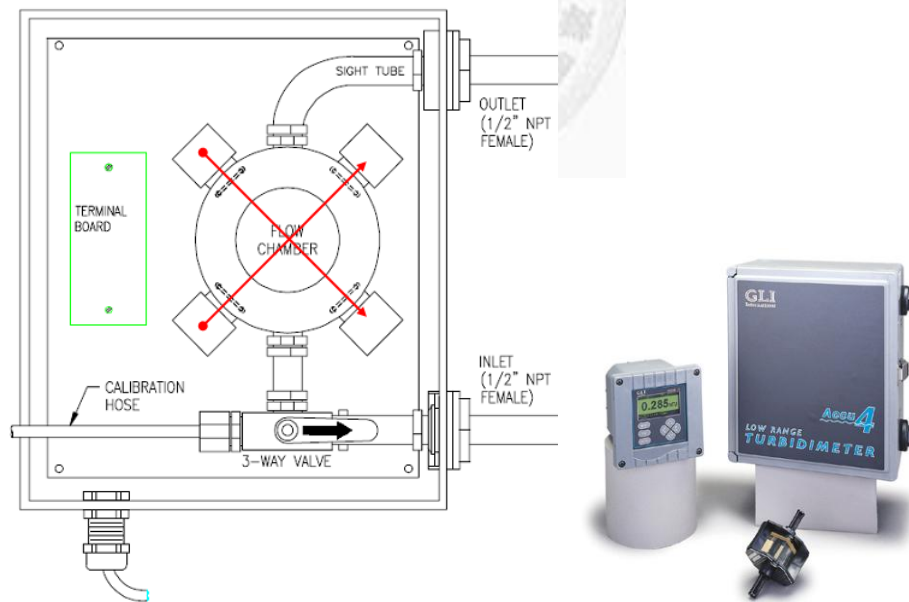


圖 2-3 多照明光波式濁度計原理示意圖

(Hach Company, 2009)

2.1.4 濁度計檢驗規範與濁度單位

濁度計依據量測角度、光源種類與光源波長之不同，必須依循不同的檢驗標準，最常見的包括美國的 USEPA 180.1 與歐盟的 ISO 7027 兩種規範為主，此外由知名儀器廠商 Hach Company 與 GLI(Great Lakes Instruments)提出的專屬標準 Hach 10133 與 GLI M2，其規範也經過美國政府機構的認可，檢驗規範概要詳如表 2-1。Hach 於 2003 年併購 GLI 成為集團之子公司，原 GLI 產品改以 Hach GLI 品牌銷售(Hach, 2003)。

表 2-1 濁度計檢驗規範概要

標準方法	單位	量測角度	光源	光規格	備註
USEPA 180.1	NTU	90°±30°	鎢絲燈泡	2200K~3000K	USEPA, 1978
ISO 7027	FTU	90°±2.5°	LED	860 μm±60 μm	ISO, 1990
Hach 10133	NTU	90°±2.5°	LD	660 μm±30 μm	Hach Co., 2007
GLI M2	FNMU	90° 或其他角度	LED/LD	LED: 860 μm±60 μm LD: 660 μm±30 μm	Hach GLI, 2009

註：LED：發光二極體；LD：雷射二極體；(本研究整理)

濁度之量測數據受到儀器原理影響，不同設計原理的濁度計測得之結果皆不同，濁度表示單位依據光源波長、感測器與光源夾角角度及光源數而異(Anderson, 2004)。我國環保署明定以 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) 做為濁度表示單位，因此環保署公告之濁度檢測方法 NIEA W219.52C 亦有明確限制濁度計的設計方式，以期能達到一致之檢驗標準(環保署, 2005)。而最早使用的傑克森濁度單位(Jackson Turbidity Units, JTU)，因其使用燭光作為光源，光度難以控制導致準確性不佳，目前已無採用；此外，過去常見的 Formazin 濁度單位(Formazin Turbidity Units, FTU)，由於濁度測值皆以濁度標準液(Formazin Standard)校正，卻不限制儀器的感測原理，因此美國國家

地質調查局(U. S. Geological Survey, USGS)公告，日後建立的國家水資訊系統(National Water Information System, NWIS)中將不再使用FTU作為濁度表示單位。表 2-2 為 USGS 核定之濁度單位一覽表，雖然由儀器設計原理制定了 10 種濁度單位，但除了 NTU 與 FNU 外，其他的濁度單位尚未得到 USEPA 或 ISO 的正式承認，因此儀器製造商仍受檢驗規範的律定，以 NTU 或 FNU 作為表示單位(Anderson, 2005)。

表 2-2 USGS 核定濁度單位一覽表

光源與感測器夾角		白光或全頻光源 (400-680 nm)	單頻光源。近紅外光 (780-900 nm)或其他特定波長
單 一 波 束 光 源	90°	NTU (Nephelometric Turbidity Unit)	FNU (Formazin Nephelometric Unit)
	90°或其他角度。並以感測值搭配演算法	NTRU (Nephelometric Turbidity Ratio Unit)	FNRU (Formazin Nephelometric Ratio Unit)
	30°±15° (背向散射)	BU (Backscatter Unit)	FBU (Formazin Backscatter Unit)
	180°	AU (Attenuation Unit)	FAU (Formazin Attenuation Unit)
多 波 束 光 源	每一波束使用90°或其他角度。並以感測值搭配演算法	NTMU (Nephelometric Turbidity Multibeam Unit)	FNMU (Formazin Nephelometric Multibeam Unit)

(資料來源 Anderson, 2004。本研究整理)

2.1.5 手持式濁度計介紹

手持式濁度計(Handheld Turbidimeter)是一種不需採樣可直接讀取濁度測值的儀器，其設計要領與適用性介紹如下。

1. 設計要領

Omar 和 MatJafri(2009)整理濁度計的設計方法後，提出了濁度計在設計時必須考量的因子，包括感測範圍、感測角度、光源與接收器的選擇、設計誤差、穩定度、是否適用於連續監測等。手持式濁度計大部分採用散射式或背向散射式設計，以散射光原理感測時，光接收器與光源呈 90° 夾角是最佳的感測角度。

手持濁度計多用於野外計測，因此必須考慮環境光的影響，光源選擇以能發出紅外光(Infrared radiation, IR)的 LED 為主，並搭配可接收光源波長的光接收器，藉此降低環境光的干擾；此外，選用光電元件時必須考慮該元件在環境光下的歸零測試(畢等，2002)。

由於光電元件本身的電氣特性，王(2003)將濁度感測器的工作溫度由室溫 25°C 提高至 85°C 時，發現 IR 的功率會由 -17.079dBm 下降至 -19.725dBm ，而光接收器的電流輸出卻會由 2.21mA 增加至 2.89mA ，因此濁度感測器若需要在高溫環境下使用時，必須進行溫度補償。

Barter et al.(2003)曾針對濁度計的穩定度進行研究，建議以變異係數(Coefficient of variation, CV)做為評定標準。變異係數又稱「離散係數」，其定義為標準差與平均值之百分比；該研究以五種濁度計分別對濁度標準液(Formazine standard)以及野外採集水樣進行檢測，得知標準組的變異係數為 $1.5\sim 6.8\%$ ，野外組為 $6.6\sim 44.1\%$ ，較前人研究結果更為理想，推論為儀器技術持續進步所致。

除前述要點外，儀器使用的電壓、功率消耗、資料自計與資料

傳輸，甚至外殼、導線長度等，其設計方式也影響到產品的應用

2. 適用性

手持式濁度計具有可攜帶、操作簡便、採樣迅速之特點，部分高階產品具有資料儲存功能，可用於長時間連續監測。手持式濁度計現地量測時易受水流與氣泡干擾，計測時應注意選擇水流方向穩定之地點(D&A INSTRUMENT, 2005)。侯(2002)的研究中將 OBS-3 濁度感測器置入養殖池內監測濁度，實驗結果感測器必須距離氣泡 8 公分以上，測值才不會受到氣泡影響；此外，流速大小雖然會影響濁度的測值，但沒有明顯的趨勢，不過發展中的亂流區濁度值會小於已發展完成亂流區，裝設濁度感測器時應特別留意。

部分應用中發現，感測器長時間置於水中容易受到藻類附生，且水中的固形物也可能與感測裝置外殼發生氧化，影響散射光接收的正確性。對此，部分廠牌研發自淨功能，以微型馬達驅動刮片定期刷淨感測器表面，避免藻類附生或髒汙干擾感測正確性(Wedgewood, 2004; D&A INSTRUMENT, 2005)。

由於手持儀器可以略過採樣步驟，直接對特定區域水質進行立即、連續監測，可有效掌握監測期間的濃度變化(Christensen et al., 2000)；搭配電腦或與無線網路連結，更可進行即時的資料分析，或自動控制應用。近年來陸續有研究指出此類濁度計的便利性，侯(2002)以 OBS-3 濁度感測器針對九孔養殖池的固形物濃度進行監測後發現，濁度值與固形物濃度呈現極佳之相關性， R^2 在 0.99 以上，電壓輸出與固形物濃度之斜率為 0.378(mV per mg/L)，並求得 OBS-3 濁度(FTU)與固形物濃度(mg/L)關係式

OBS3濁度 = 0.5451 × 固形物濃度 + 7.462，此成果若結合資料記

錄器與控制器，可作為養殖池排汙與清洗時機的判斷，降低水電成本。高(2007)使用 WTW 700IQ 濁度感測器以每秒連續監測方式繪製濁度曲線圖，藉此探討不同混凝劑的效果，可有效降低人為觀測的誤差。謝(2009)利用與高(2007)相同濁度連續監測方式，以濁度標準偏差值(Standard Deviation, SD)，取代光纖膠羽分析儀(Photometric Dispersion Analyzer, PDA)之膠凝指數(Flocculation index, FI)，實驗結果顯示，混凝膠羽之粒徑、強度及碎形維度，均與濁度標準偏差值呈現極佳的相關性，並建議以濁度連續監測系統，推斷混凝膠羽之結構特性。

3. 手持濁度計與一般濁度計的比較

手持濁度計與一般濁度計，都必須在檢測前以濁度標準液或特定方式進行校正。使用一般濁度計計測時，須將水樣裝入檢驗瓶(vial)並置入樣本井(Sample well)中檢測，樣本瓶表面之髒污或刮痕都會影響計測結果；若水樣溫度較低時樣本瓶表面易起霧，造成低估濁度值之結果，此時須將水樣加熱或於樣本瓶外測塗抹抗霧藥劑後，方可進行計測(Hach Co., 2008)；手持濁度計不須採樣，使用時僅需將感測器置入水中，即可進行計測，但測值易受環境干擾，計測開放區域之濁度時，應增加檢測數與檢測點，以提高計測值的正確性。

Uytendaal(2003)針對新月湖(Lake Crescent)與索瑞爾湖(Lake Sorell)的調查研究過程中，將四種濁度計分別以濁度標準液與野外採集的水樣進行一系列的比較，結果發現可攜式濁度計 Hach 2100P (圖 2-4A)與手持式濁度計 McVan NEP160(圖 2-4B)在

12 次採樣數據的量測數據較接近，兩者的線性迴歸 R^2 值為 0.98(圖 2-5)，方程式為 $Hach(NTU) = 0.8081 \times McVan(NTU) + 4.3027$ 。由式中發現手持濁度計的測值較一般濁度計略低，但計測結果仍存在很高的一致性。



圖 2-4 Hach 2100P 濁度計與 McVan NEP160 手持濁度計
(本研究拍攝)

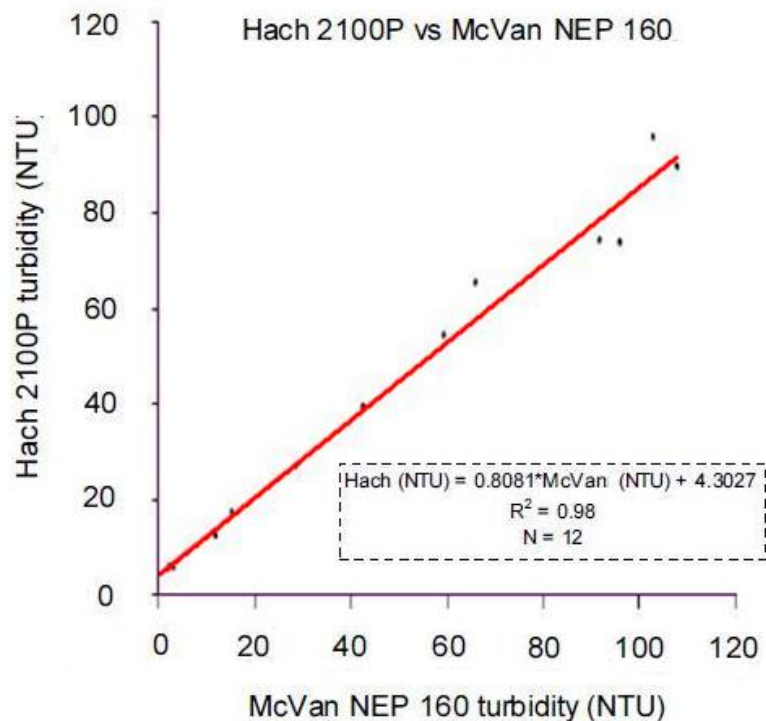


圖 2-5 Hach 2100P 與 McVan NEP160 濁度計計測結果相關性
(Uytendaal, 2003, 本研究整理)

手持濁度計絕大部分以紅外線為光源，並採用散射光原理設計，量測單位應為 FNU 或 FBU，因此必須仔細閱讀濁度計之說明，了解儀器顯示的單位是否可等同為 NTU；此外，計測結果若須與過去研究使用 NTU 所計測之數據進行比較或分析時，應同時採用手持濁度計與一般濁度計計測，以釐清差異程度(Uytendaal, 2003)。

市售濁度計依據外型與應用方式，可分為實驗室濁度儀、可攜式濁度計、手持式濁度計、濁度感測器、工業製程用濁度計等五種(詳見附錄一)(Anderson, 2004)。實驗室濁度儀準確性高且感測範圍大，適用於極高或極低的濁度，較高階的產品可選擇散射、背向散射、透射等多種量測原理，如 Hach 2100 AN、HF Scientific Micro 1000 等，以滿足不同使用需求；濁度儀尺寸較大，且校正程序較複雜，因此並不適合搬動。此類儀器也可進行連續的濁度監測，部分產品如 HACH 2100N 透過外接專用的流動式樣本組(Flow cell-kit)，可計測樣本流動時的濁度變化(圖 2-6)(Hach Co., 2008)。

可攜式濁度計外型較小便於攜帶使用，大部份產品使用散射光感測原理，可感測範圍通常在 1000 NTU 以內；此類儀器具有容易校正且計測穩定的特點，由於產品售價較低，因此使用者相當廣泛。

手持式濁度計與濁度感測器類型可視為同一類型產品，儀器商除了單獨販售感測器外，也會加上顯示與資料傳輸功能模組，成為手持式濁度計。濁度感測器如 D&A OBS-3、Wedgewood OUS 41 等，可將濁度以電壓訊號呈現，經由濁度與電壓轉換公式，將電壓值轉換成濁度值；手持式濁度計功能較富變化，除了可隨計測地點選擇不同範圍之感測器外，部分產品對顯示模組進行功能強化，不僅可

以同時連接濁度、酸鹼度、鹽度、溶氧等多種感測器(如 Eureka Environmental Manta2)，更結合無線通訊功能，長時間獨立監測濁度(如 Hach sc1000 Probe Module)，是相當適合於野外監測與長時間自記的產品(D&A Instrument Co.，2006)。

工業製程用濁度計由主控電腦、感測器、採樣邏輯與控制迴路構成，此類型產品可長時間連續監測極低的濁度，適用於工廠生產流程的品質監控，經由採樣邏輯可同時監測多個管道內的液體濁度，並由控制單元設定濁度感測範圍，當濁度過高或過低時，傳遞特定訊號至控制迴路，驅動其他儀器設備進行對應的處理(Hach Co.，2007)。

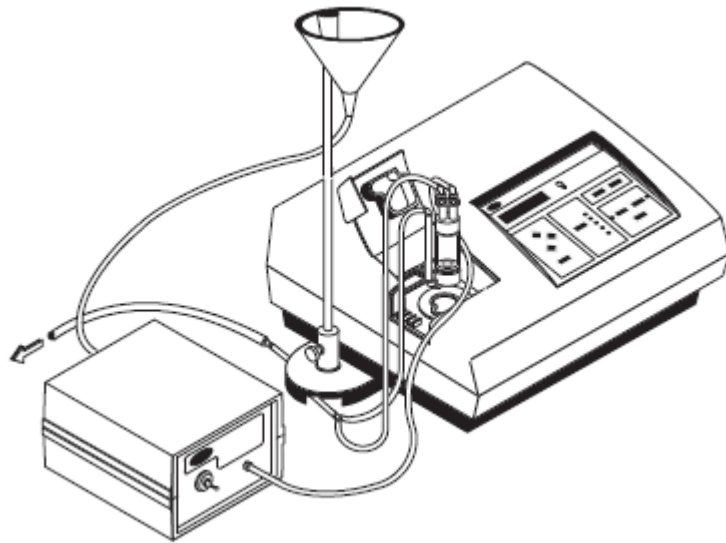


圖 2-6 HACH 2100N 及流動式樣本組示意圖(Hach Co.，2008)

2.2 微藻類物理特徵、應用與養殖

2.2.1 藻類概述

藻類(Algae)是一群無根、莖、葉但細胞內含有葉綠素 a 和其他輔助色素，可捕捉太陽光能行光合作用並釋放氧氣的生物。藻類的生長環境和分布非常廣泛，只要有足夠水分且光線可及之處，皆有藻類分布。依其生活習性大致可分為浮游性、底棲性、附著性與共生性四種。其中，浮游性藻類又稱為浮游藻(Planktonic algae)，是漂浮於水中且無法維持固定生活位置的微小藻類(徐，1999)，而微藻類(Microalgae)幾乎皆歸屬於浮游性藻類。目前學者普遍接受的分類方式，將藻類分為 10 門，分布於原核生物界 (*Prokaryota*)、原生生物界 (*Protista*) 與植物界 (*Plantae*) 之中，包括藍綠藻門(*Cyanophyta*)、原綠藻門 (*Prochlorophyta*)、綠藻門(*Chlorophyta*)、輪藻門(*Charophyta*)、裸藻門(*Euglenophyta*)、金藻門(*Chrysophyta*)、甲藻門(*Pyrrhophyta*)、隱藻門(*Cryptophyta*)、褐藻門(*Phaeophyta*)、紅藻門(*Rhodophyta*)等 (Round, 1984)。藻類依據獲得營養的方式不同，可分為自營性 (Autotrophic)、異營性(Heterotrophic)與混營性(Mixotrophic)三種，必須用不同的養殖方法滿足其需求(徐，1999)。

2.2.2 微藻類物理特徵

微藻類有豐富的外型與多變的型態，其物理特徵舉凡大小、形狀、顏色、重量，會因為生長階段而呈現不同樣貌，分述如下。

1. 大小

藻類包括大型藻類(Macroalgae)與微藻類(Microalgae)，其

中微藻的大小從數微米(μm)到數百微米皆有，如綠球藻(*Chlorella*)約 $2\sim 8\ \mu\text{m}$ 、螺旋藻(*Spirulina*)約 $500\ \mu\text{m}$ 等；相較於大型藻類如海帶、石花菜等可以用肉眼直接觀察，微藻類由於體型過小，必須依賴放大鏡或顯微鏡等儀器方可進行觀察(徐，1999)。相同微藻會因生長過程或環境因素改變型態，而甚至改變體型大小。因此以顯微鏡檢測數量時需要豐富的微藻知識與經驗。

2. 外形

微藻類的細胞外型相當多變，除了三角形、方形、圓形等幾何形狀外，還有月形、梨形、針形、S形、弓形等。此外，藻類的成長過程也會使細胞組成方式改變，大致可分成單細胞、群體與絲狀體等，不同組成方式之外觀與大小也截然不同(徐，1999)。

3. 顏色

藻類除了都含有葉綠素外，不同的藻類內含不同型式及數量的輔助色素，如 α 、 β 胡蘿蔔素、藻藍素、藻紅素、藻褐素、葉黃素等，輔助色素的組合及含量比例多寡，賦予藻類各異色彩(趙等，2003；徐，2009)。此外，部分微藻如紅球藻(*Haematococcus*)在生存環境緊迫時會大量累積蝦紅素(Astaxanthin)，也使外觀顏色由綠變成紅色(陳，2009)。

4. 重量

微藻的生長期依序分為滯後期(Lag phase)、指數期(Exponential phase)、緩慢成長期(Declining relative growth rate)、固定期(Stationary phase)與死亡期(Death phase)(Fogg，1975)。不同生長時期細胞內所含物質的成分、濃度不同，其重量

亦不相同。以等鞭金藻(*Isochrysis*)為例，於指數生長期時細胞快速分裂增值，單一細胞的重量低形狀為圓形；進入固定期後細胞增殖緩慢，但所含物質如金藻昆布醣(Chrysolaminaran)等快速累積，重量大幅增加外型也變為梨形(趙等，2003)。此一現象將會衍生單位細胞數量相同，但乾重後之生物量不同的結果。

2.2.3 微藻類的應用

1. 周式扁藻(*Tetraselmis*)

周氏扁藻(圖 2-7)在分類上為綠藻門(*Chlorophycophyta*)、綠色鞭毛藻綱(*Prasinophyceae*)、綠色鞭毛藻目(*Prasinocladales*)、綠色鞭毛藻科(*Prasinocladaceae*)、扁藻屬(*Tetraselmis*)，生活於海水中。細胞大小為 8~16 μm ，體扁、橢圓至卵圓體。具四根頂生等長鞭毛，色素體翠綠，眼點橙色位於中央。藻體游動快速呈長軸轉動，型態為橢圓或卵圓形(蘇，1999)。養殖應用方面常見於投餵輪蟲及海水魚苗，或投餵貝類幼苗及甲殼類眼幼蟲期幼生。觀賞魚養殖方面，劉(2002)嘗試以周式扁藻滋養模糊許水蚤(*Schmackeria dubia*)後餵養庫達海馬(*Hippocampus kuda*)幼體，以提高其存活率。扁藻在封閉式光反應器養殖，在 25°C、24 小時光照培養的條件下，產量可達 1.5g/L(王，2003)。

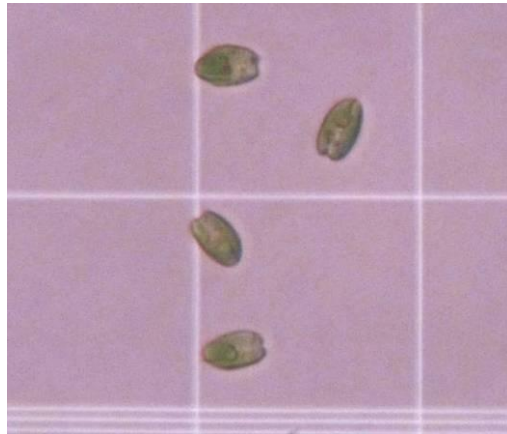


圖 2-7 周式扁藻(*Tetraselmis*)

(本研究拍攝)

2. 等鞭金藻(*Isochrysis*)

等鞭金藻(圖 2-8)最早由 Parke 於 1938 年在英國海洋生物試驗站養魚池的海水中分離出來，是一種黃色鞭毛藻，在分類上屬於金藻門(*Haptophyta*)、定鞭金藻綱(*Haptophyceae*)、等鞭金藻目(*Isochrysidales*)、等鞭金藻科(*Isochrysidaceae*)、等鞭金藻屬(*Isochrysis*)(Green and Pienaar, 1977)，直徑約 3~7 μm 。等鞭金藻是水產界熟知的一種單細胞微藻，具有體型小、繁殖快、胞內營養豐富，且不具纖維的細胞壁容易被水生動物幼體消化吸收，富含大量的高度不飽和脂肪酸，尤其是 DHA 等特性 (Helm and Laing, 1987)。體型小適合貝類濾食，對貽貝、牡蠣的養殖具有很重要的地位 (Helm and Laing, 1987；鄭等, 1998)。該藻也可作為重要餌料動物輪蟲的滋養源 (蘇等, 1995；趙等, 2003) 和海參、海水蝦及石斑等水產動物幼苗 (雷和蘇, 1985；鄧, 1993；Su et al., 1997) 的良好食物，被廣泛應用於蝦類幼苗的養殖 (Phatarpekar et al., 2000)。在室內 23-27°C、照度 280-400 μ

E/m²/s、24 小時光照的培養條件下，藻濃度可達 1100-1350 × 10⁴ cells/mL(周，2003)。

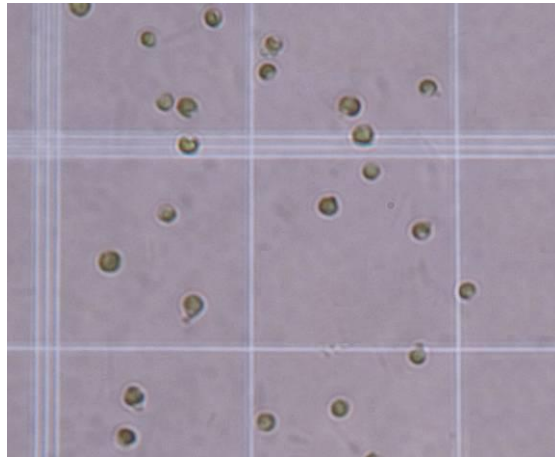


圖 2-8 等鞭金藻(*Isochrysis*)

(本研究拍攝)

3. 紅球藻(*Haematococcus*)

紅球藻(圖 2-9)於 1884 由 Flotow 發現，分類上屬於綠藻門(*Chlorophyta*)，綠藻植物綱(*Chlorophyceae*)，團藻目(*Volvocales*)，紅球藻科(*Haematococcaceae*)、紅球藻屬(*Haematococcus*)，直徑約 5~20 μm，生活於淡水水域內，是目前所知自然界中，蘊含強效抗氧化物質—蝦紅素最多的生物來源，公認為極具蝦紅素商業生產前景的微藻(陳，2009)。做為雞隻飼料可增加蛋黃的顏色，亦可提高雞蛋孵化率達 5%(劉，1998)。紅球藻在生存條件惡化的情況下，會由綠色細胞轉變成紅色細胞，進行蝦紅素的累積，因此建議以二階段的人工培養方法，於第一階段增加生物量後，再以惡劣條件進行第二階段養殖，如此可使人工養殖的紅球藻蝦紅素含量有效提升，實驗結果，人工養殖條件下，紅球藻的單

位乾重可達 1.07g/L(陳，2009)。

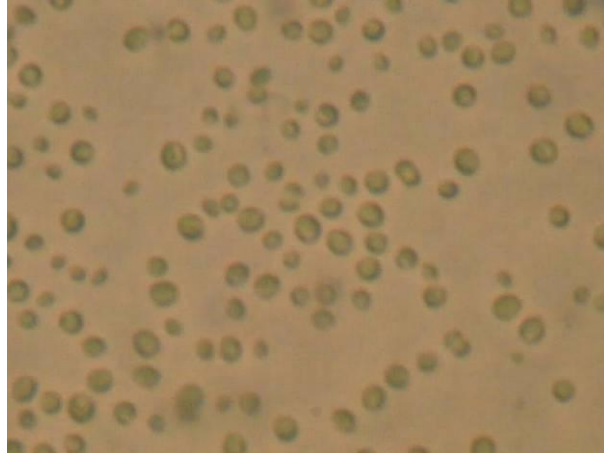


圖 2-9 紅球藻(*haematococcus*)

(本研究拍攝)

4. 其他藻類應用

微藻應用中最普遍的是小球藻(*Chlorella*)、螺旋藻(*Spirulina*)與杜式藻(*Dunaliella*)；小球藻一般俗稱為綠藻，相關之保健產品如綠藻錠、綠藻素等相當常見，含有豐富的蛋白質、維生素、礦物質、不飽和脂肪酸、DHA 等營養物質，可降低血液中的三酸甘油酯與膽固醇；螺旋藻是一種具有顯著保健功能的藻類，食用時具有降低膽固醇、降低各種癌症風險、促進腸道乳酸桿菌群的成長、減輕汞與藥物對腎的毒性、提升免疫力等效果，做為藥品可加速外傷癒合並抑制部分病毒。目前全世界每年的產量超過 3,000 公噸，最大的生產國是中國與印度；杜氏藻是一種極耐鹽的藻類，細胞中含有高達 14% 的 β 胡蘿蔔素，具有很強的抗氧化能力，除了作為養殖餌料外，目前主要用在保健的素材上，全球年產量約有 1,200 公噸(趙等，2003；鄭等，2007)。

生質柴油研究被視為解決石油枯竭問題的重要對策，近年成果指出叢粒藻(*Botryococcus braunii*)所含油脂高達 53%-70%，利用藻類生產油脂產量預估每年可達 72,000 ~130,000 L/ha，推算藻類的油脂生產速度比陸生植物快 45-220 倍，只要能突破製程上的成本限制，將來養殖微藻不僅可以供應大量的優質柴油，且生產過程能將低空氣的碳濃度，可謂一舉數得 (Hill and Feinberg, 1984；林等，2007；林，2008)。

微藻也可以應用於其它的污染防治上，如廢水的處理 (周等, 1992) 和重金屬的移除等 (Becker, 1983)。而矽藻外殼沉積而成的矽藻土是重要的工業原料，可做為濾材、塗料與美容磨砂清潔用品等；矽藻外殼堅韌的細刺使它成為絕佳的物理性殺蟲劑，不具毒性卻能輕易刺穿昆蟲外皮使其死亡，不會造成環境危害，適合大量應用於有機栽培。

2.2.4 微藻類的養殖法

微藻培養系統可分成開放式和密閉式兩種，其選擇需要考慮許多因素，如微藻的生物特性、氣候狀況、目標產物種類與土地、人工、能源、用水、營養源等各項成本(謝等，2009)。

1. 開放式養殖

本法大致可分為大型池、開放式槽體、圓形培養池及跑道型培養池等四種。每種類型各有其優缺點，必須依據相關條件做為選擇培養方式的依據，以獲得最大的經濟效益。開放式系統利用戶外陽光進行培養，較適用於自營性藻種。主要優點為規模易放大，成本也較低，因此是量產的主要方式。開放式培養的缺點在於培養環境

易受外界，如溫度、天氣、光照強度及光照周期變化的影響，也容易遭受其他藻種、細菌及原生動物的污染。因為開放式培養的環境因子較不容易控制，所以培養操作上有其困難度(謝等，2009)。開放式微藻養殖系統發展迄今已超過 20 年歷史，相當適合大量生產養殖技術成熟的藻種，因此即使被視為傳統且低技術的方法，卻仍是最主要的經濟微藻養殖首選(Borowitzka，2005)。

2. 密閉式養殖

密閉式系統可在發酵槽(Fermentor)、培養袋，光生化反應器(Photobioreactor)內培養，應用不同，所需系統也不同。光生化反應器適用於自營性或混營性藻種，發酵槽則適用於異營性與混營性藻種，不論在戶內或戶外都可實施。密閉條件下較易控制培養環境，因此生產速度較高，品質較穩定，後續分離純化所花費的成本也可減少。相較於開放式系統，密閉式系統不易被雜菌污染，且幾乎各種微藻都可適用，但有設備成本過高，規模不易放大等缺點(謝等，2007)。研究指出，使用發酵槽養殖的生產效率與經濟效益皆優於光生化反應器(Behrens，2005)。

2.3 微藻計測常用方法

計測微藻濃度方法可區分為數量計測法與重量計測法，敘述如下。

2.3.1 數量計測法

包括鏡檢法、流式細胞儀法、顯微圖像自動辨識法、薄膜過濾法與濁度計法，其中鏡檢法最為普遍被使用。

1. 鏡檢法

在藻類數量檢測方法中最廣泛使用的是鏡檢法，將待檢的樣本妥慎置於玻片上，使用顯微鏡觀測並計算數量，並以所得數量計算單位水體積內的藻個數。選擇玻片時需依據藻類體型大小，檢測對象體長小於直徑 $30\ \mu\text{m}$ 使用血球計數器(Haemocytometer)，若體型較大且外型較長(例如：螺旋藻等)可使用賽吉計數池(Sedgewick-Rafter slide)，而樣本的濃度也影響到計數裝置的選用(詳如表 2-3)。此外亦可使用簡易的水滴計數法，此法須計算吸管 1ml 的水滴數量後，再滴一滴藻水於玻片上觀測，由水滴中的藻個數推算 1ml 水樣中的藻類數量。

使用 0.1mm 深度之血球計數器時，顯微鏡下可觀察到如圖 2-10 的方格，計數時需觀察中央區域共 25 大方格的藻數量，計算後之數量乘以 10^4 即為 1mL 之藻數量；若濃度過高時，先以顯微鏡觀察細胞分布是否均勻，若細胞分布均勻時可計算 4 個角落與中央方格共計 5 個方格(圖中紅框所示)的微藻數量，再乘以 5 求得樣本微藻濃度；部份藻類因為體積過小($>5\ \mu\text{m}$)，以高倍率(大於 100 倍)觀察時應注意調整顯微鏡焦距，使貼近計數器或蓋玻片的藻細胞都能確實計算到；另外為了降低採樣時誤差，使用鏡檢法需反覆採樣檢測三次以上，並取平均值記錄之(陳等，1994)。

表 2-3 常用計數裝置適用之細胞大小與養殖密度

計數裝置	細胞大小 (μm)	養殖密度 (cells/mL)
Sedgewick-Rafter計數盤	50-500	$30-10^4$
Palmer-Maloney計數器	5-150	10^2-10^5
Speirs-Levy計數器 (0.2mm 深)	5-75	10^4-10^6
血球計數器(0.2mm 深)	5-75	10^4-10^6
血球計數器(0.1mm 深)	2-30	10^4-10^7
Petroff-Hausser計數器	<1-5	10^6-10^8

(Guillard et al. , 2005 , 本研究整理)

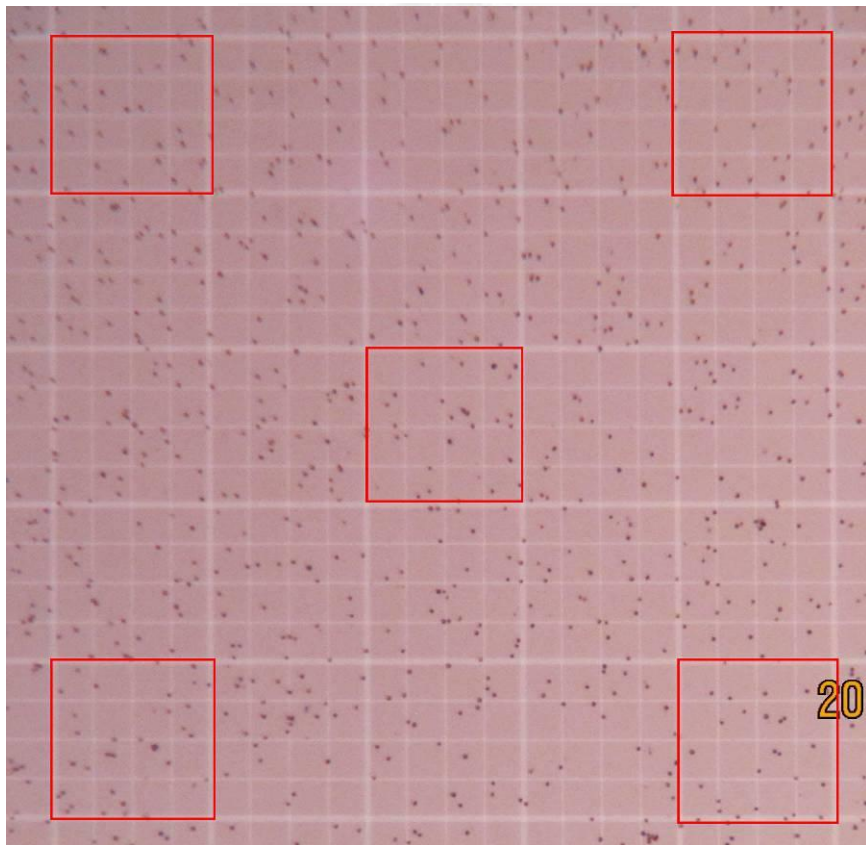


圖 2-10 顯微鏡下之血球計數器方格

紅框為高微藻濃度之簡化計數使用(本研究拍攝)

2. 流式細胞儀法(Flow cytometer)

流式細胞(Flow cytometry)技術是一種在流體狀態下觀測細胞的技術，流式細胞儀是一種可在流體狀態下，將細胞進行觀測與記錄的儀器。此儀器廣泛應用於生物研究，特別在醫學的領域更是重要的儀器(蔡，2007)。從1980年代以後開始有學者將流式細胞儀做為浮游生物的分類與計數的工具，研究對象以海水的浮游生物為主，到了2003年，以流式細胞儀作為微藻或超微藻(Picoalgae)的計數工具已經相當普遍(Marie et al.，2005)。儀器基本原理為細胞被雷射光激發後，會產生 $0.5^{\circ}-5^{\circ}$ 的前散射光(Forward scatter, FSC)及 $15^{\circ}-150^{\circ}$ 的側散射光(Side scatter, SSC)，當顆粒本身帶有螢光物質(Fluorochrome)，或被帶有螢光物質的抗體或被其它螢光物質染色過的話，則會產生特定範圍波長之螢光；訊號接收的部份，由於FSC的訊號功率較強，可使用PIN二極體(PIN diodes)接收，SSC的訊號功率較小，必須以光電倍增管(Photomultiplier, PMT)來接收，如此可順利將光學特徵轉換成電子訊號(蔡，2007；鄭，2008)。由於FSC可以表示光線擊中的顆粒大小，而SSC可以表現出該顆粒的螢光反應，因此本法不僅可做為藻個數的計算，亦可區別不同的藻種(Marie et al.，2005)

3. 顯微圖像自動辨識法

本法的出現是基於流式細胞進樣(Sample Inlet)技術與數位影像演算法的整合，讓自動化影像辨識系統可以進行細胞或微生物之數量與種類辨識，國外已有Cytobouy與FlowCAM等產品問世。蔡(2007)與鄭(2008)利用流式細胞進樣方法，結合數位影像擷取、

處理與類神經辨識技術，對水中的藻類進行數量計數與種類辨識，系統流程圖詳如圖 2-8；其辨識率與計數的正確性依據藻類不同而有顯著差異，效果較佳者為單細胞綠藻、微囊藻與藍綠藻等，約在 76%~94%；而柵藻、盤星藻與鼓藻皆低於 52%。

此類系統辨識率不高，主因為水中雜質干擾與活體藻類運動等因素不易掌握，且須針對不同藻類進行反覆的辨識訓練，因此並不適用於充滿各種藻類的自然水體環境(鄭，2008)。

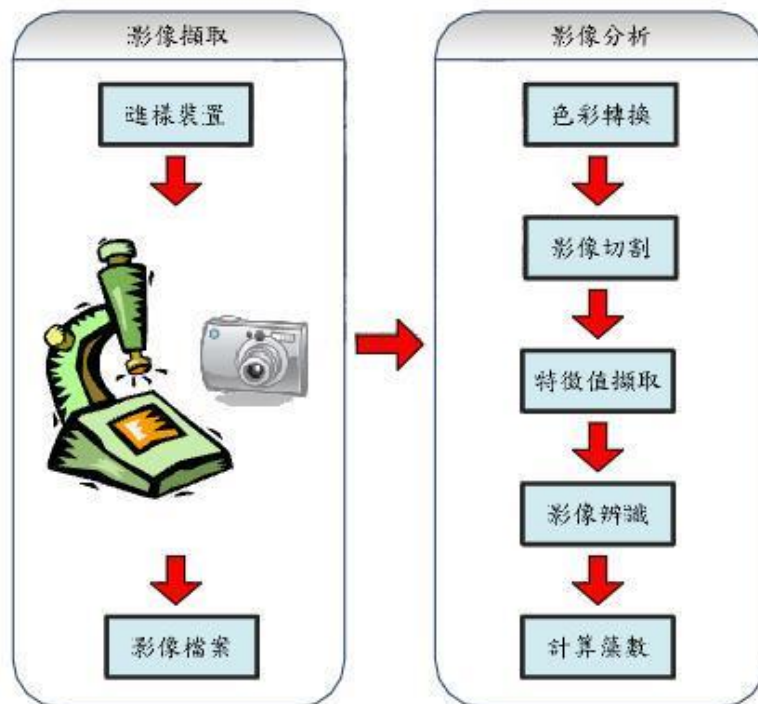


圖 2-11 圖像自動辨識法系統流程圖(鄭，2008)

4. 薄膜過濾法(Membrane filter)

本法是常用的微生物檢測法，應用於食品衛生與毒物學領域之微生物檢驗。適用於體型較大的微藻類且單位容積細胞數較低的樣本計測。先將一定體積之藻水以孔隙小於藻類的微生物檢測專用濾膜 (Membrane Filters for Microbial Analysis) 過濾，置入乾燥箱中乾燥 8 小時後，在濾膜上滴上顯微鏡專用的浸油 (Immersion oil) 去除濾膜表面的光折射，再以顯微鏡觀察計算微藻數量，最後以式 2-1 求得單位容積之藻個數(王，2006)。

$$\text{藻個數} = \text{藻數量} \times \left(\frac{\text{全部網格數}}{\text{計算之網格數}} \right) \times \left(\frac{1000}{\text{藻水容積}} \right) (\text{cells/mL}) (2-1)$$

5. 濁度法

濁度法係以鏡檢法或其他方法求得微藻數量，再以濁度計測量藻水的濁度，製作兩者之間的線性迴歸方程式。邱(2007)以 Hach 2100A 濁度計量測藍綠藻 (*Microcystis sp.*) 的藻水濁度，並與鏡檢法所測得之藻類數量進行迴歸，得到兩者之間的線性方程式為藻數=6065 × 濁度+31772 (cells/mL)，且 R² 值高達 0.9998。

王(2007)亦使用 Hach 2100A 濁度計量測菱形矽藻 (*Nitzschia*) 的藻水濃度，與鏡檢法迴歸後得到線性方程式為藻數=9729 × 濁度+851.92，R² 值為 0.9863。

本法適用於無法測得最佳吸收波長之藻種(如藍綠藻)，可快速定量藻類濃度，亦可與該藻種的乾燥重量進行迴歸分析，作為評估該藻種之單位容積重的替代方式。目前相關實驗方法，仍以一般濁度計如 HACH 2100P 或 HACH 2100N 為主，使用手持濁度計操作本法的效果，仍待研究證實。

2.3.2 重量計測法

包括乾燥秤重法與光學密度(Optical density, OD)測定法，其中光學密度法較常使用，分述如下。

1. 乾燥秤重法

此法與懸浮固體(Suspended Solid)的檢驗方式類似，依循過濾、乾燥、秤重的程序，首先取 50 mL~100ml 的藻液，以真空吸引機使其通過已預先烘乾秤重之濾紙後，置於烘箱中以 90~105°C 乾燥 2 小時，隨後取出濾紙置於乾燥皿，靜待約 1 小時後冷卻至室溫，測其重量後與事先記錄之空白濾紙重量相減，得到藻液內之藻重量後換算成 1 公升的藻重量(mg/L)，即可獲得微藻單位容積重。

使用此法須注意濾紙孔徑的選擇，必須小於藻類的直徑，但若孔隙過小則易造成過濾的困難；此外，亦須注意過濾海水藻類時，應添加至少 1 公升以上之去離子水沖洗，使濾紙上之鹽分充分溶出，避免乾燥秤重時將海水鹽份一併計入，造成誤差(陳等，2009)。

2. 光學密度(OD)測定法

光學密度測定法係以適量藻液置入石英管先行掃描該藻類的最佳吸收波長後，再利用分光光度計於最佳波長下測得吸光值，此吸光值即稱做光學密度。光學密度與藻類的乾重進行線性迴歸，即可以樣本測得之光學密度與迴歸方程式，快速得知藻類的單位容積重量。葉(2006)以擬球藻 (*Nannochloropsis oculata*)為研究對

象，實驗結果擬球藻乾重= $0.498 \times OD_{682}(\text{g/L})$ ， R^2 值為 0.981；陳等(2009)以綠藻(*Chodatella sp.*)為研究對象，得綠藻乾重= $-46.4 + 116.3 \times OD_{684}(\text{mg/L})$ ， R^2 值為 0.955。本法常見於純藻的連續培養實驗，可快速且密集的計測藻類濃度變化，其效率亦較乾燥秤重高出許多。

2.3.3 數量與重量計測方式之比較

本研究將微藻的數量與重量計測法，分別以是否需要前置作業、計測所需時間、設備(含耗材)成本與操作難度進行比較。前置作業泛指水樣是否需要進行前處理；計測時間在 10 分鐘內評為短，10 至 60 分鐘評為中，超過 60 分鐘者評為長；設備成本少於 5 萬者評為低，5 至 10 萬者評為中，超過 10 萬者評為高；操作難度以操作人員是否需要訓練為依據，檢須簡單訓練評為低，需完整操作訓練評為中，需反覆且具專業背景者評為高。

所得結果如表 2-4，以濁度計進行藻個數檢測法雖然無法辨識微藻種類，但其具有不需前置作業、計測時間短、設備成本低與操作簡單等特點，是微藻數量或重量計測方法中，最簡便、快速、經濟的計測法。

表 2-4 各種數量與重量計測方式之比較表(本研究自行整理)

分類	方法名稱	前置作業	計測時間	設備成本	操作難度	藻種辨識
藻個數檢測法	鏡檢法	無	中	低	高	可
	流式細胞儀法	有	短	高	高	可 ^{*1}
	顯微圖像自動辨識法	有	短	低	中	可 ^{*2}
	薄膜過濾計數法	有	中	低	中	可
藻重量檢測法	濁度計法	無	短	低	低	不可
	乾燥秤重法	無	長	中	中	不可
	光學密度測定法	無	長	高	中	不可

註 1：辨識藻目或藻綱為主，無法辨識藻種。

註 2：辨識率依藻種不同而有差距，約為 25~80%(蔡，2007；鄭，2008)。

第三章、材料與方法

3.1 自製濁度計設計與製作

為即時得知環境中微藻濃度變化狀況，可使用濁度感測直讀方式以達到此目的，本研究將感測器與微控制器結合，透過類比與數位訊號轉換以及資料處理後，將感測器之電壓與濁度數據顯示於顯示幕上，所需的材料與方法詳述如下。

3.1.1 實驗材料與設備

1. 濁度感測器 TBS-200

本研究使用之濁度感測器由國內捷騰光電公司(Solteam Opto, Inc.)所研發，型號為 TBS-200，版本為 V1.4。該元件設計用途為自動洗碗機之操作流程控制與洗淨感測，工作條件為高溫、高濁、無光之環境，其研發過程考慮感測器外殼設計與材質選擇、光源與光接收器的間距、溫度補償等因子(王，2003)。

本感測器採用散射式原理，光源使用紅外線 LED，與光接收器呈 90° 夾角，工作電壓使用 6-9 V 的直流電源，建議工作範圍 0-3000 NTU，輸出電壓 0-5V。由於應用對象需求，濁度與電壓呈負相關性，其電路示意圖如圖 3-1。

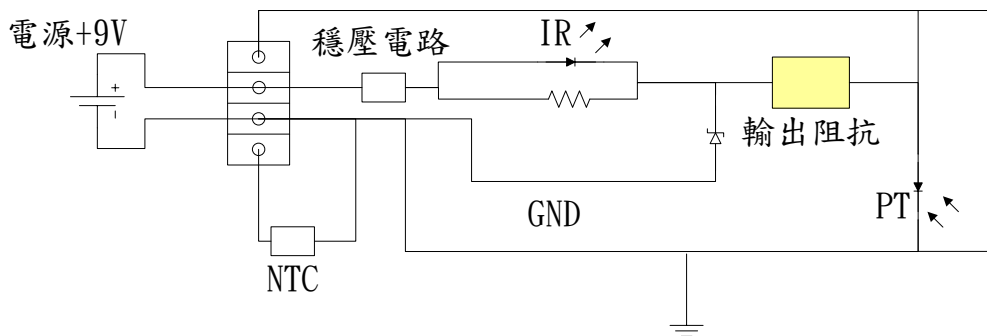


圖 3-1 TBS-200 內部電路示意圖

針對感測器本身的特性有兩點須先釐清，一為光接收器使用光電晶體感光開關，開關開啟的程度隨感測光提高而增加，由於此元件可感測全頻光源，因此必須實驗釐清環境光對其干擾程度；其次是感測器本身的最低工作範圍及敏感度，由於洗碗機內部的訊號判斷閾值高達 0.5V 以上，故原始設計之感測器靈敏度為

$$\frac{\text{閾值電壓}}{\text{最大輸出電壓}} \times \text{最大感測濁度} = \frac{0.5}{5} \times 3000 = 300 \text{ (NTU)}, \text{ 即 } 300 \text{ NTU}$$

之內的變化無法有效判讀，因此若不提高敏感度將無法判定藻水濁度變化。

為解決上述問題，可以更改感測器的輸出阻抗的電阻值因應。廠商提供三個感測器，輸出阻抗皆使用兩個 34.37KΩ 的電阻並聯，將其中一個編號為 S0 後，自行將另外兩個感測器更換輸出電阻(圖 3-2A)，並賦予編號為 S1、S2，輸出電阻以併連方式降低元件誤差可能的影響，使用之電阻值如表 3-1；修改輸出電阻後將感測器連接上訊號線，並以熱縮套管加熱包覆，接口處塗抹矽利康膠防水後，完成感測器(圖 3-2B、3-2C)；由於光電元件本身的誤差甚大，因此三個感測器工作範圍與敏感度亦不相同，故實際工作範圍仍需

以實測為準。



圖 3-2 TBS-200 感測器製作

(A)感測器電路板、(B)以熱縮套管包覆的感測器、(C)三個完成的感測器

表 3-1 濁度感測器輸出電阻

感測器編號	輸出電阻
S0	34.7K Ω
S1	100K Ω
S2	150K Ω

2. 德源科技微控制器綜合實驗板

為簡化開發過程的微控制器(Micro Controller Unit)電路設計與除錯程序，本研究使用德源科技生產之微控制器綜合實驗板(圖 3-3)取代自製電路，並以此進行微控制器程式的開發。該實驗板兼具晶片燒錄功能，透過 USB 與電腦連接直接進行微控制器程式的燒錄，亦可選購除錯用之套件以增進開發之效率。內建 ADC0804 等 IC 元件所需之子電路，只需透過開關設定即可完成微控制器與子電路之聯結，便於進行各種微控制器的功能開發(德源科技，2008)。

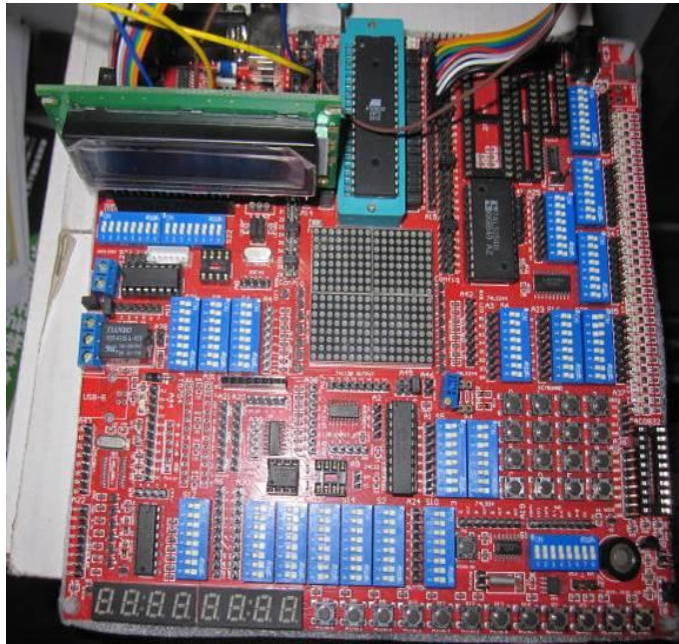


圖 3-3 德源科技微控制器綜合實驗板

3. Atmel AT89S52 微控制器(Micro Controller Unit, MCU)

完全相容於 8051 指令集，內建 8K Bytes 可程式快閃記憶體 (Flash Memory)，工作電壓 4.0~5.5V，工作頻率 0~33MHz，內含 256 Bytes 隨機存取記憶體(RAM)，具有 32 條可程式 I/O 與 3 組 16 位元計時／計數器，提供 8 組中斷來源服務，並具有低功率待機、低功率模式與看門狗(Watch-dog)等功能(Atmel, 2005)。本微控制器屬於成熟產品，包含計算機所需的輸入、輸出、控制處理、算數邏輯、記憶單元等五大模組，經常作為教學使用，是一款功能完整的微控制器(Atmel, 2005)(圖 3-4)。

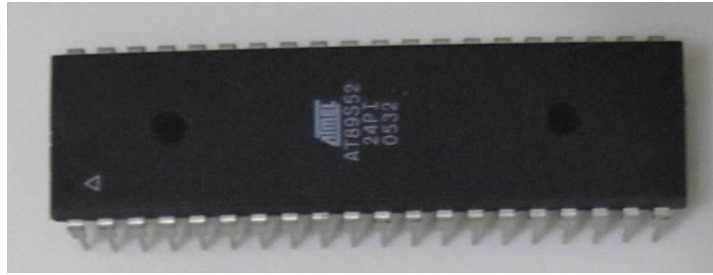


圖 3-4 AT89S52 外觀

4. ADC 0804 類比數位轉換器(Analog to Digital Converter, ADC)

ADC 0804 一款相當普遍的 8 位元連續漸進式(successive approximation)類比數位轉換器，具有 20 根接腳(圖 3-5)，輸入電壓 0-5V，工作電壓 5V，振蕩頻率(fclk)為 640KHz 時採樣轉換時間可達 103~114 微秒(μ s)(National Semiconductor, 1999)(揚等, 2002)。

本研究使用之 TBS-200 濁度感測器，係將濁度訊號以電壓表示，若透過 ADC 的轉換可使類比電壓訊號轉換成數位資料，方便微控制器進行處理與判斷。ADC 轉換值的表示係以參考電壓決定，當參考電壓為 5V 時，輸入電壓之大小可將 ADC 轉換值代入式 3-1 計算求得。

$$\text{輸入電壓} = \frac{\text{參考電壓}}{\text{解析度}} \times \text{轉換值} = 0.195 \times \text{轉換值 (V)} \dots\dots\dots(\text{式 3-1})$$

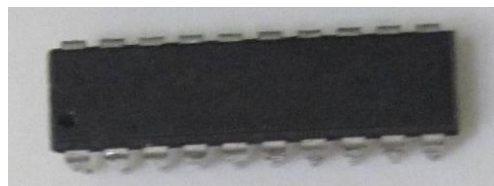


圖 3-5 ADC0804 外觀

5. KM1602A 液晶顯示器(LCD)

為一文字型 LCD 顯示器，內部包含控制單元與 LCD 驅動單元，又可稱為 LCM(LCD Module)，有 16 支接腳，可顯示 16X2 字數之英文與數字，作為濁度計的資料顯示使用(圖 3-6)。

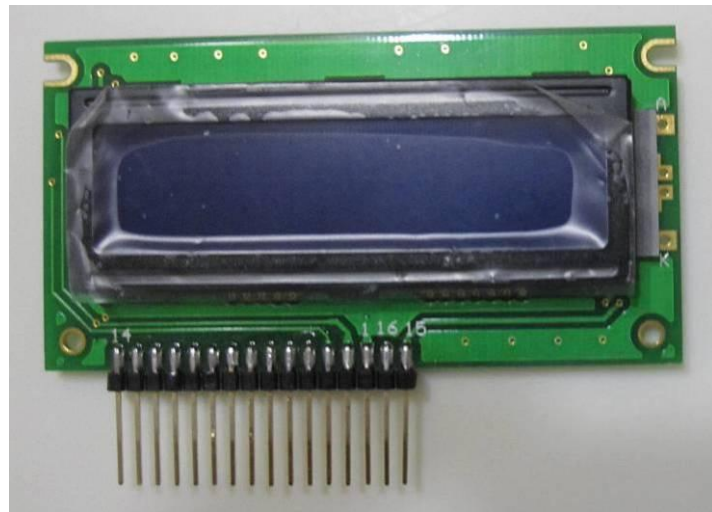


圖 3-6 KM1602A 外觀

6. Keil C V2.40a 程式編輯工具與 ATMEL ISP V2.0 晶片燒錄程式

Keil C 為 8051 系列微控制器開發最常使用之程式語言工具，具有撰寫、編譯、除錯等功能，隨著程式語言開發的開放源碼(Open Source)觀念日益成熟，亦有相當豐富的免費原始碼可供開發人員參考，以縮短軟體開發時間(楊等，2002)。

本研究以 Keil C 進行微控制器程式撰寫與編譯，搭配 ATMEL ISP V2.0 燒錄程式，將編譯完成後的程式檔案寫入微控制器的快閃記憶體內(圖 3-7)，以驗證程式撰寫是否正確。

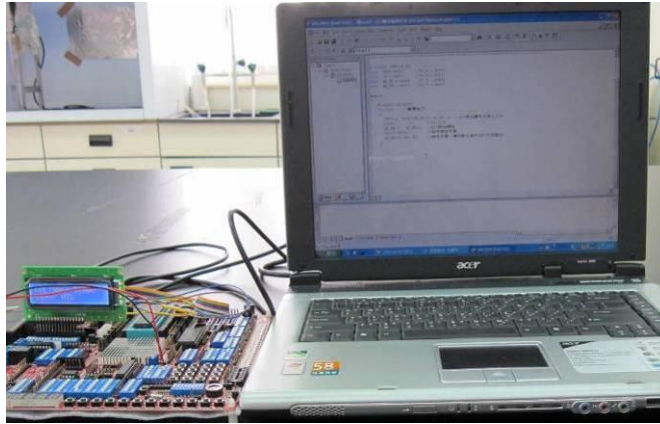


圖 3-7 程式開發畫面與微控制器開發板

7. HACH 2100N 實驗室濁度儀(Laboratory Turbidimeter)

為高準確性的實驗室濁度儀(圖 3-8)，採散射式(Nephelometric)原理設計，具有比值(Ratio On)與非比值(Ratio Off)兩種檢測模式，使用鎢絲燈泡作為光源，具有訊號平均(Signal Averaging)功能，儀器說明中建議若水樣濁度大於 40 NTU 時，應開啟比值模式，當開啟比值檢測模式時感測範圍可達 0-4000 NTU(Hach Co.，2008)。

本研究使用此濁度儀，並開啟比值檢測模式進行自製濁度計的讀值校正，計測步驟請參閱附錄四；後續實驗亦將使用本儀器進行藻水的濁度計測，提供自製濁度計測值的比對用。



圖 3-8 HACH 2100N 實驗室濁度儀



3.1.2 實驗流程

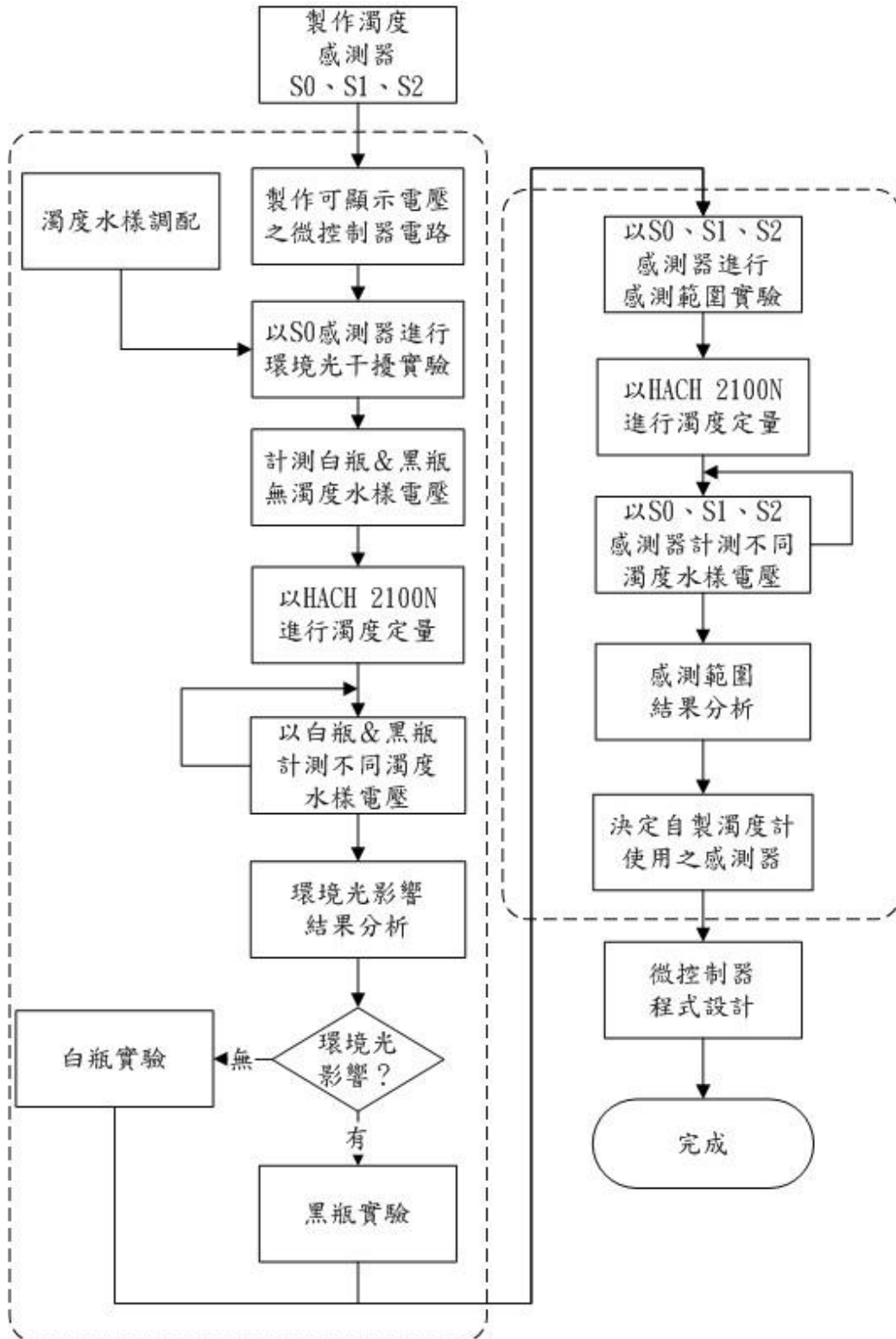


圖 3-9 自製濁度計設計與製作實驗流程

3.1.3 濁度水樣調配與濁度測定

製作濁度電壓檢量線前必須調配渾濁水樣。本研究使用杏嘉企業 (Shangard Enterprise Co.) 提供之膨潤土 (Bentonite) 作為調配渾濁水樣的顆粒。膨潤土俗稱皂土，是常用的工業用原料，具有吸水膨脹性、分散性、懸浮性、高可塑性、潤滑性等性質 (經濟部礦物局，<http://www.mine.gov.tw/Bible/ViewMineral.asp?view=m35>)，可應用在建築、石化、陶瓷、鑄造、農業、工業、環保工程、油脂漂白劑等。

濁度水樣以 2 公升去離子水，加入 200 mesh 顆粒大小之膨潤土 20 公克調製；調配時以磁石攪拌器攪拌 30 分鐘，初期仍會有塊狀顆粒，靜置後會逐漸溶解，約一天後即可充分溶解；靜置一天後以磁石攪拌器攪拌 10 分鐘，利用磁石吸附膨潤土所含之鐵離子，即完成實驗用水樣原液。

取 1 公升原液，以 50% 比例稀釋後取 200mL 以樣本瓶分裝，反覆逐步稀釋調製，完成 8 種濁度水樣各 200mL，濁度由高到低分別標示 1-8 號 (圖 3-10)。調製完成的不同濁度水樣，以實驗室濁度儀 HACH 2100N 測其濁度，檢測流程遵照儀器使用說明書 (Hach Co., 2008) 進行；測得 5 筆數據後，取平均值標示於瓶身，另準備 1 瓶去離子水做為無濁水樣。

因膨潤土具有高懸浮性特徵，當充分溶解後其濁度值不易改變。Chilton (1991) 在養殖池的濁度控制研究中，使用膨潤土營造池水渾濁環境，呈現相當穩定的效果，但為維持實驗數據精確，每次實驗進行前皆需以 HACH 2100N 濁度儀，進行濁度校正。



圖 3-10 調製完成的 8 瓶不同濁度水樣及 1 瓶去離子水

3.1.4 濁度與電壓之檢量線實驗

實驗之前先撰寫電壓轉換程式，並以微控制器搭配 ADC 0804 及 LCD 顯示模組製作電壓計，以利 TBS-200 感測器之電壓計測實驗，此電壓計待實驗完成後，可藉由實測數據製作之迴歸方程式，將電壓值轉換為濁度值。

1. 環境光干擾實驗

由於 TBS-200 感測器原始設計的使用條件為無光照環境，與藻類培養環境可能存在環境光干擾不同，因此必須先進行預備實驗，釐清感測器對於環境光干擾的反應，亦即確認感測器的輸出電壓與濁度是否具有明顯相關。以白瓶(白色水樣瓶)代表環境光干擾組，與黑瓶(茶色寬口不透光水樣瓶，Wheaton)代表無環境光干擾組，使用廠商原始提供之感測器 S0 進行實驗(圖 3-11)，步驟如下：

1. 8 瓶由低到高濁度水樣，分別以 HACH 2100N 濁度儀測得 5 筆濁度數據，記錄平均濁度，依序完成所有水樣的定量計測。
2. 感測器 S0 以去離子洗淨後，取實驗用的白瓶與黑瓶各一，分別裝入 200mL 之去離子水，置入感測器，待數值穩定後記錄 5 筆無濁

度水樣電壓值。

- 感測器 S0 與水樣瓶清洗後，取濁度水樣 200mL 倒入白瓶內，置入感測器，待電壓值穩定後記錄 5 筆電壓值。完成後將白瓶內水樣倒入黑瓶內，重複測試並記錄 5 筆電壓值。最後將濁度水樣倒回樣本瓶回收。
- 水樣以濁度低到高的順序重複步驟 3，完成 8 瓶水樣電壓計測。
- 若濁度水樣測得與無濁度電壓相同的數值，則該筆不需記錄。
- 將 HACH 2100N 濁度儀計測結果，與本實驗所計測之電壓值進行迴歸分析，決定進行自製濁度計實驗時使用之樣本瓶。此樣本瓶後續皆以「實驗樣本瓶」稱之。

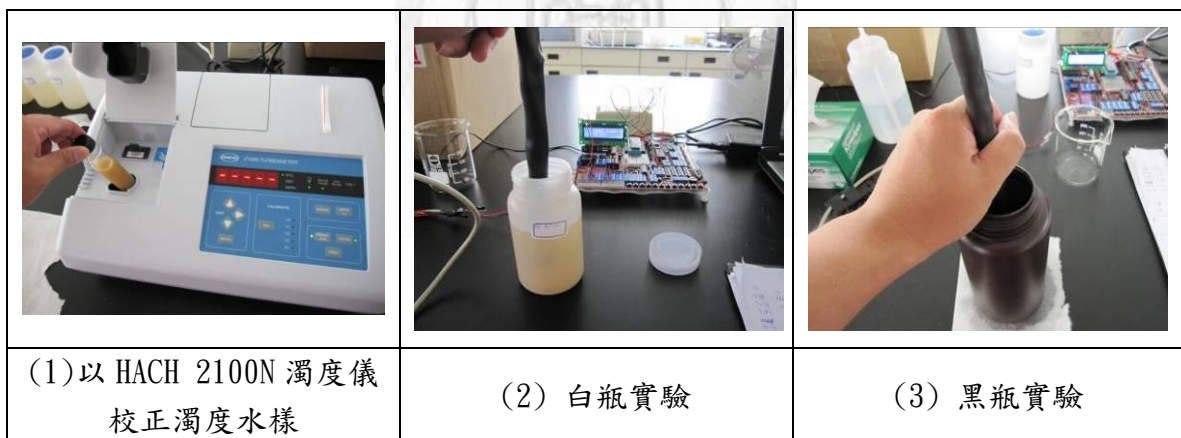


圖 3-11 環境光干擾實驗流程

2. 濁度感測範圍實驗

由於 TBS-200 適用於高濁度的監測場合，但一般情形下微藻藻水之濁度皆低於 500 NTU，因此必須設法將感測器的工作範圍降低。本實驗以 S0、S1、S2 共三種不同輸出電阻的感測器，量測 3.1.3 製作之濁度

水樣，以釐清濁度感測範圍與最低可感測之濁度。本實驗依據 3.1.4 之實驗結果，選擇適用之實驗樣本瓶，實驗步驟如下：

1. 8 瓶由低到高濁度水樣，分別以 HACH 2100N 濁度儀測得 5 筆濁度數據，記錄平均濁度，依序完成所有水樣的定量計測。
2. 將實驗樣本瓶注入 200mL 之去離子水，置入 S0 感測器，待數值穩定後記錄 5 筆無濁電壓值。
3. 取濁度水樣 200mL 倒入實驗樣本瓶內，置入 S0 感測器，待電壓值穩定後記錄 5 筆電壓值。完成後將濁度水樣倒回原本的樣本瓶回收。
4. 水樣以濁度低到高的順序重複步驟 3，完成 8 瓶水樣電壓計測。
5. 分別以 S1、S2 感測器取代 S0 感測器，重覆步驟 2、3、4。
6. 若低濁度水樣測得與無濁度電壓相同的數值，則該筆不需記錄。
7. 將 HACH 2100N 濁度儀計測結果，分別與三個感測器測得之電壓進行迴歸分析，取可感測濁度較低且感測範圍集中於 1000 NTU 以內之感測器，作為自製濁度計使用之感測器。
8. 計算該感測器之線性或二次多項式迴歸公式，作為自製濁度計的濁度與電壓轉換公式。

3.1.5 微控制器程式設計與濁度計組裝

手持式濁度計的特點，在於能將感測器測得之電壓轉換為可直讀之濁度值。本研究使用 ADC0804 將感測器的電壓值轉換成數位訊號，製作

簡易電壓計取代傳統電表的電壓量測方式。完成感測器實驗後，另外撰寫程式將 ADC 傳遞至 AT89S52 微控制器的電壓平均值，以濁度與電壓轉換公式轉換成濁度值，再傳遞至 LCD 顯示。濁度與電壓轉換公式，係依據 3.1.4 第二部份的實驗結果所得之迴歸公式撰寫而成。由於 ADC0804 採樣頻率接近每秒 1000 次，水質監測並不需要如此高頻率之採樣，因此微控制器程式以延時(Delay)方式，將採樣頻率降為每秒 10 次；此外，電壓的採樣平均筆數必須配合微控制器運算能力與記憶體限制，以不超過 10 筆為原則，前述之程式流程詳如圖 3-12。

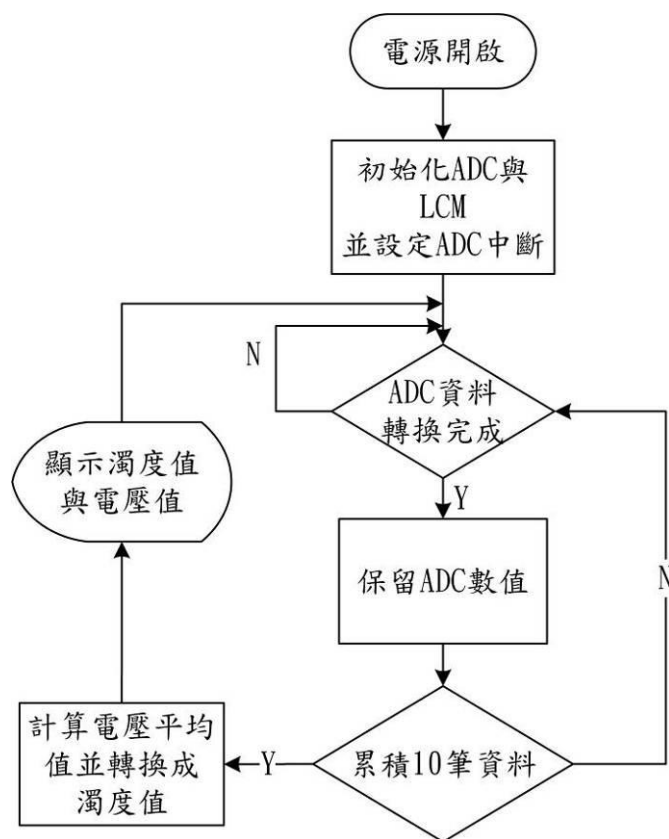


圖 3-12 微控制器程式流程圖

微控制器程式以 Keil C 撰寫完畢後(圖 3-13(1))，使用 Keil C 內

建之編譯器將程式碼編譯成可燒錄之 16 進制機械碼，透過微控制器綜合實驗板所附之燒錄軟體將機械碼燒錄至微控制器內(圖 3-13 (2))。由於微控制器綜合實驗板已經內建 ADC 0804，組裝時僅需安裝微控制器與 LCD 顯示模組至特定位置(圖 3-13(3)、(4))，再以導線將微控制器的輸出入接腳與 ADC、LCD 顯示模組連接，最後將完成之感測器訊號輸出接腳連接至 ADC 的輸入，並開啟電源後即可使用。自製濁度計可同時顯示濁度值與 ADC 的電壓值(圖 3-13(5))，亦可連接電腦進行立即的修改與除錯(圖 3-13(6))。採樣頻率為 10 次/秒，計算 10 筆數據之平均值顯示，螢幕更新頻率為每秒 1 次。



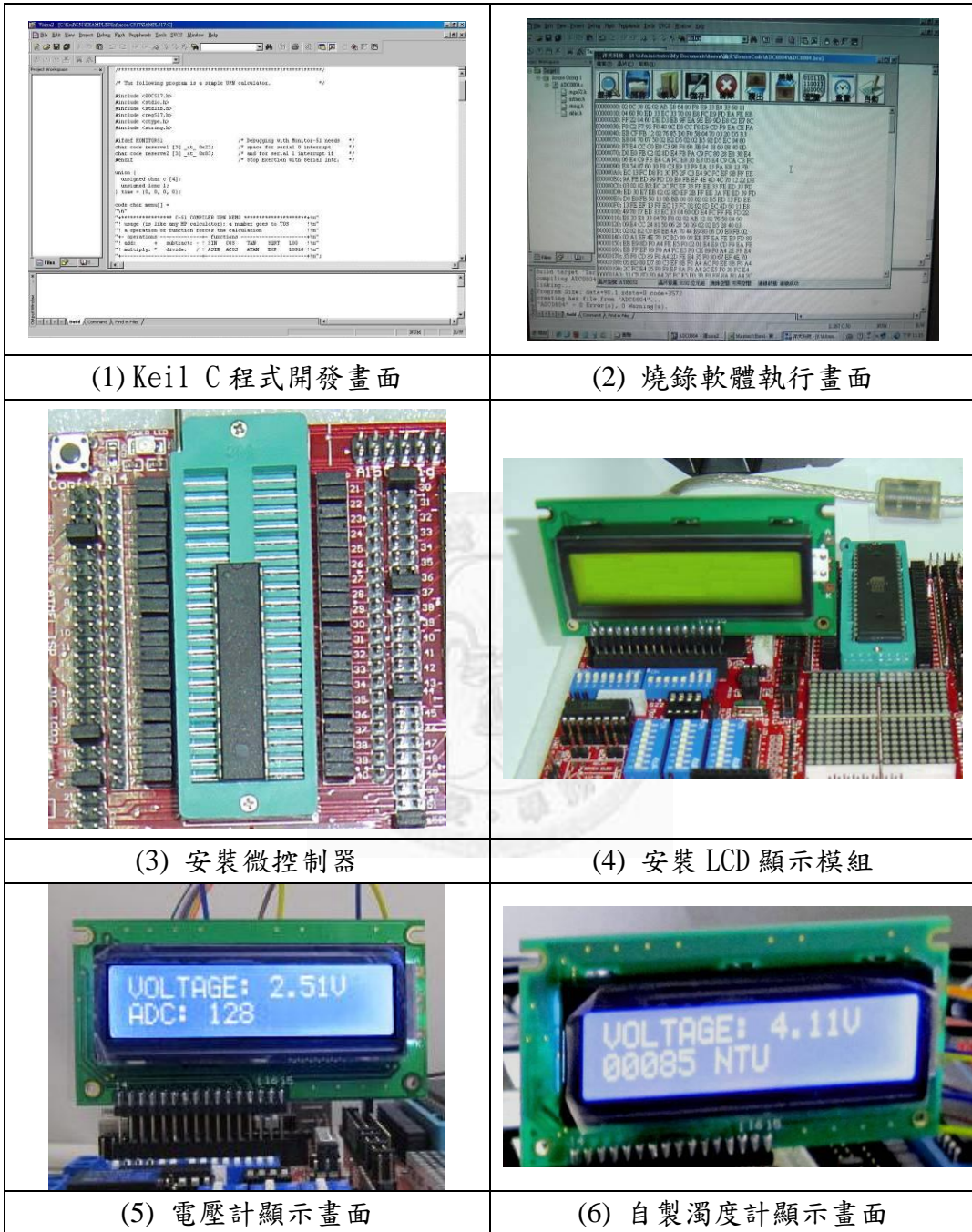


圖 3-13 自製濁度計的開發與組裝

3.2 三種藻類之濃度變化計測

3.2.1 實驗材料與設備

實驗設備包括三種高濃度之藻水各 1000 mL、磁石攪拌器、OLYMPUS CH20 顯微鏡、血球計數器(Hemocytometer, Marienfeld)、微量滴管、機械式計數器、真空吸引器、烘箱、乾燥皿、OHAUS 電子天平、TOYO ADVENTEC GS25 玻璃纖維濾紙、HACH 2100N 實驗室濁度儀、自製濁度計等(圖 3-14)。

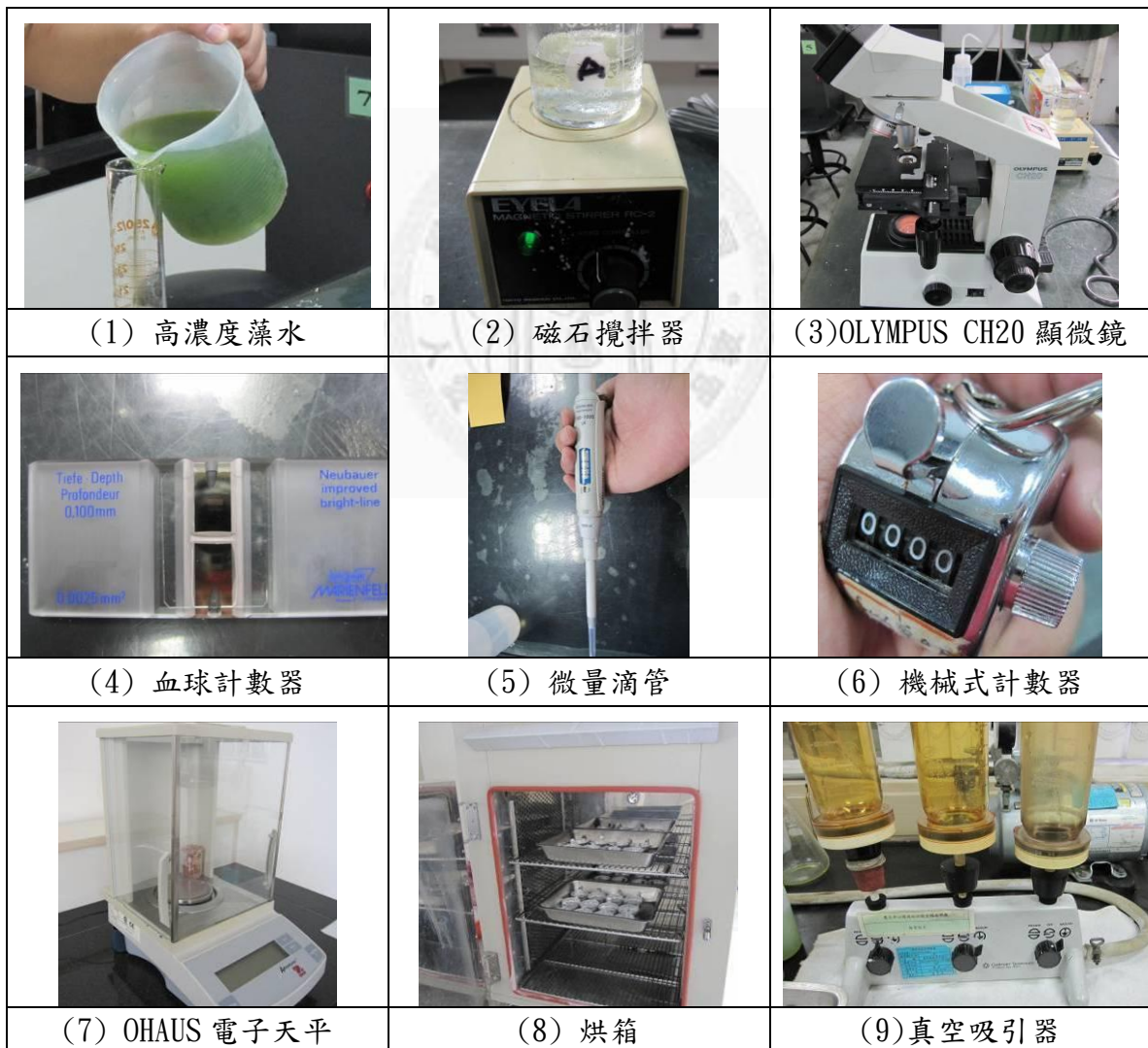


圖 3-14 藻類濃度實驗設備

3.2.2 實驗流程

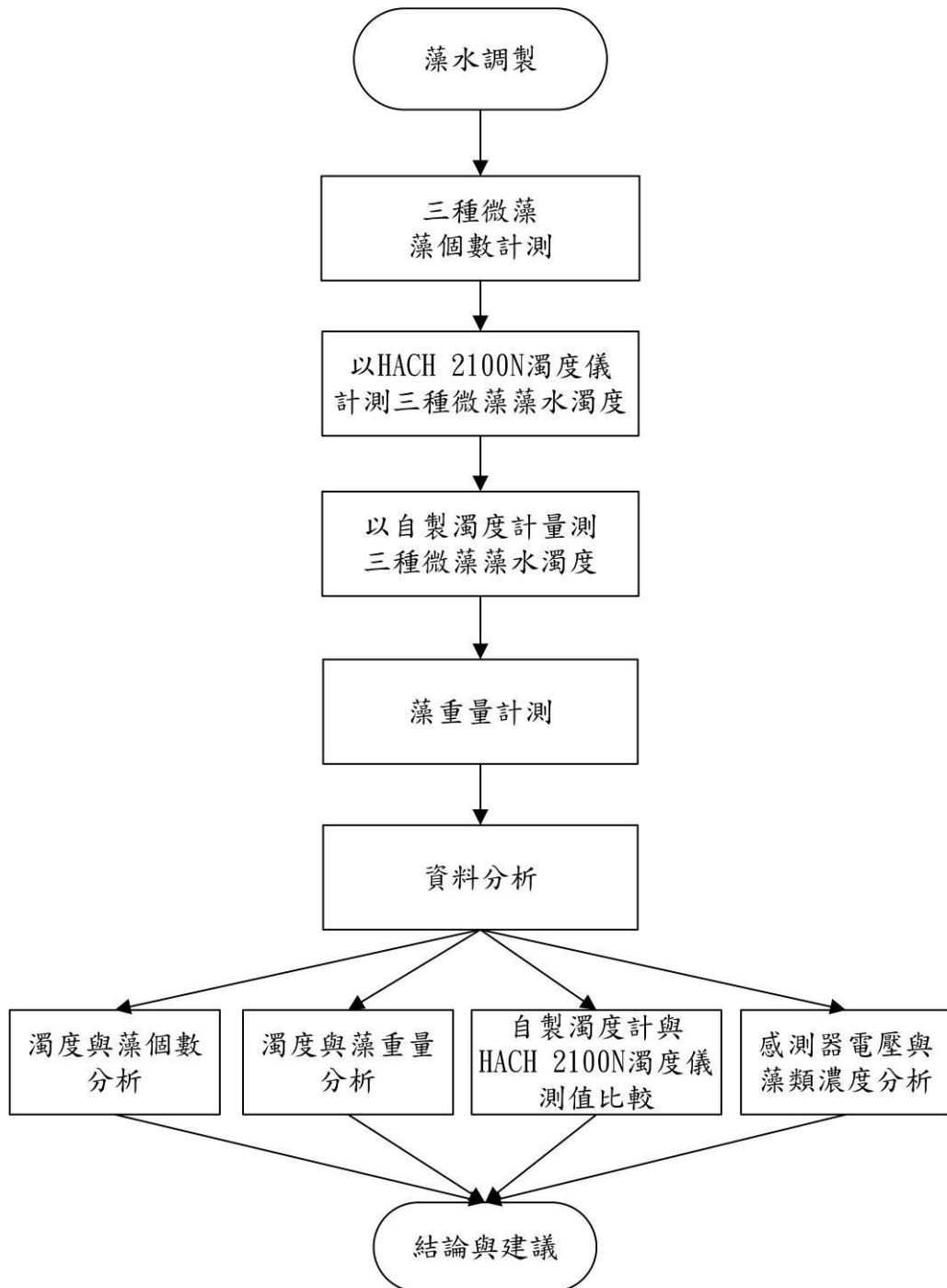


圖 3-15 三種藻類之濃度變化計測流程圖

3.2.3 藻水調製

本研究承蒙國立基隆海事職業學校水產養殖科趙文榮老師協助，提供周式扁藻(*Tetraselmis*)、等鞭金藻(*Isochrysis*)與紅球藻(*Haematococcus*)三種實驗用的純藻藻液，作為調製不同藻水濃度的實驗材料。

藻水調製工作，包括藻水固定、初始濃度計算與稀釋。本實驗忽略福馬林對微藻細胞大小改變之影響，初始濃度計算前將純藻藻液加入1%之福馬林，以磁石攪拌器攪拌至少2分鐘以上，使其固定；接著利用顯微鏡與血球計數器進行初始濃度計算，重複採樣計算3次並記錄，完成原始藻液的固定與濃度計算後，將其置入冰箱保存於10°C以下。

藻水稀釋每次以一種藻為限，以樣本瓶取200mL純藻藻液，其上標示初始濃度，接著在純藻藻液加入200mL去離子水，使其補足至1000mL，利用磁石攪拌器攪拌2分鐘以上，再以樣本瓶分裝200mL藻液(圖3-16)；反覆調配直到連同原始濃度藻液，共有6種不同濃度樣本為止。



圖 3-16 藻水調製流程

3.2.4 藻個數計測

本研究使用鏡檢法，以顯微鏡與 0.1mm 厚度之血球計數器進行藻個數計測(圖 3-17)，藻水以微量滴管取 0.05mL 注入血球計數器內，計數過程若微藻數量極多且分布平均時，可計算中央與四個角落共 5 個方格，再將所得數量乘以 5 後，做為該樣本之藻個數，以縮短計測時間。

除了計算藻個數外，由於血球計數器(圖 3-17(3))每個小方格的長寬皆為 $40\mu\text{m}$ ，故亦可用於觀察藻細胞的大小，藉由細胞的長度或直徑，與小方格框線長度對比，即可推算出細胞的大小。

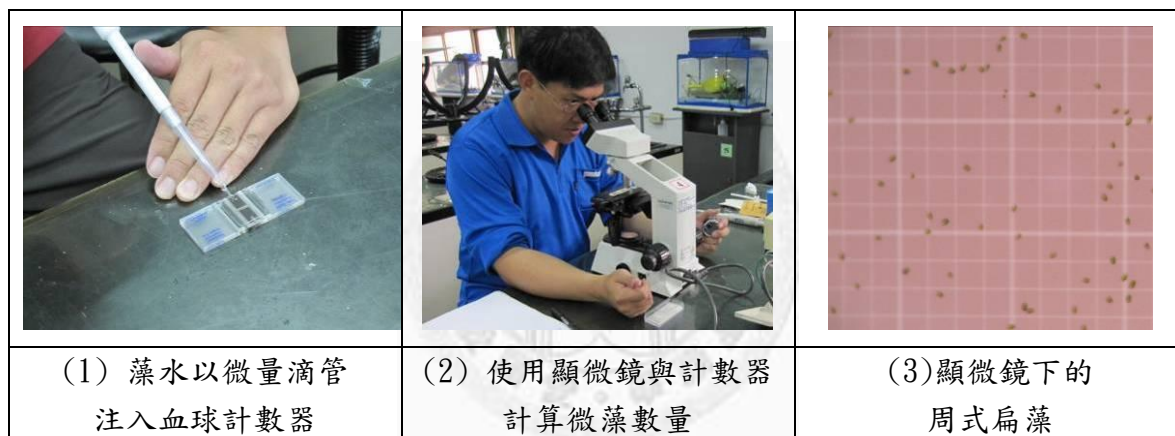


圖 3-17 鏡檢法流程

3.2.5 藻水濁度計測

藻水濁度除了以自製濁度計測量濁度外，尚需使用 HACH 2100N 實驗室濁度儀進行計測(圖 3-18)，每個樣本皆計測 5 筆數據，取平均值並計算標準差與變異係數，做為數據分析時比對之依據。實驗步驟分述如下：

1. 以自製濁度計計測

1. 依 3.1.4 之實驗結果，決定實驗樣本瓶與感測器規格。
2. 藻類水樣以磁石攪拌器攪拌 1 分鐘後倒入樣本瓶內。
3. 記錄水溫後置入濁度計之感測器，1 分鐘後記錄濁度計顯示之濁度值與電壓值，反覆記錄 5 筆數據。完成後將藻水以原本的樣本瓶回收。
4. 藻水依濃度低到高的順序重複步驟 2、3，完成 6 瓶水樣的計測。

2. 以 HACH 2100N 濁度儀計測

HACH 2100N 濁度儀之操作流程請參閱附錄四，計測步驟如下：

1. 藻類水樣以磁石攪拌器攪拌 1 分鐘，記錄水溫。
2. 以移液管取 30mL 注入 HACH 2100N 濁度儀之檢驗瓶(vial)，擦拭乾淨後置入樣本井(Sample well)。
3. 靜置 1 分鐘後記錄濁度值，完成後將藻水以原本的樣本瓶回收。
4. 重覆步驟 1、2，反覆記錄 5 筆數據。
5. 藻水依濃度低到高的順序重複步驟 1 到 4，完成 6 瓶水樣的計測。



圖 3-18 濁度法計測流程

3.2.6 藻重量計測

本研究之藻重量實驗，係以完成藻個數與藻水濁度實驗所保留下的藻水，進行乾燥稱重。實驗步驟參考水中總溶解固體與懸浮固體之檢測法 NIEA W210.56A(環保署，2002)，但乾燥恆重程序參考 Zhu and Lee(1997)的實驗方式，改以 95°C 乾燥 2 小時進行；為避免總懸浮固體重量受到溶解固體的干擾，過濾海水微藻(周式扁藻、等鞭金藻)時，須於水樣過濾完後持續開啟真空吸引器，並立即注入 1 公升以上之去離子水沖洗濾紙，使樣本中的鹽分充分溶出，使藻重量不致因鹽份等溶解固體的影響而高估(圖 3-19)。



圖 3-19 乾燥秤重檢測流程

第四章、結果與討論

4.1 自製濁度計檢量線與成品

4.1.1 環境光干擾實驗結果

本實驗包括去離子水共調配 9 種不同濁度水樣，經 HACH 2100N 濁度儀計測結果，水樣的濁度範圍約從 4071 NTU(± 6.7)至 20 NTU(± 0.04)；每種水樣以 S0 感測器測得 5 筆電壓值，並計算平均值記錄於表 4-1，其中濁度最低之兩種水樣與無濁度之去離子水所測之電壓相同。

將白瓶與黑瓶計測結果繪製圖 4-1，由圖中可發現黑瓶所測得之電壓值隨濁度遞減而升高，但白瓶所測得之電壓與濁度並未呈現一致的相關性；所得數據分別以線性與多項式迴歸方式進行分析後，得到 R^2 值如表 4-2。黑瓶的濁度與電壓相關性明顯高出白瓶甚多，證實 TBS-200 感測器在室外環境下無法忽略環境光的影響，故自製濁度計之藻水濁度實驗皆以黑瓶進行。

表 4-1 以 S0 感測器測得之黑瓶與白瓶標準液電壓

編號	濁度 (NTU)	白瓶電壓 (V)	黑瓶電壓 (V)
1	4071 \pm 6.7	3.315 \pm 0.05	3.45 \pm 0.011
2	1945 \pm 2.6	3.335 \pm 0.05	3.88 \pm 0.005
3	1105 \pm 4.4	3.495 \pm 0.05	4.095 \pm 0.05
4	607 \pm 3.7	3.775 \pm 0.05	4.255 \pm 0.011
5	412 \pm 1.3	3.785 \pm 0.04	4.32 \pm 0.008
6	191 \pm 1.4	3.78 \pm 0.04	4.42 \pm 0.005
7	107 \pm 0.55	3.64 \pm 0	4.45 \pm 0
8	20 \pm 0.04	3.64 \pm 0	4.45 \pm 0
9	0 \pm 0	3.64 \pm 0	4.45 \pm 0

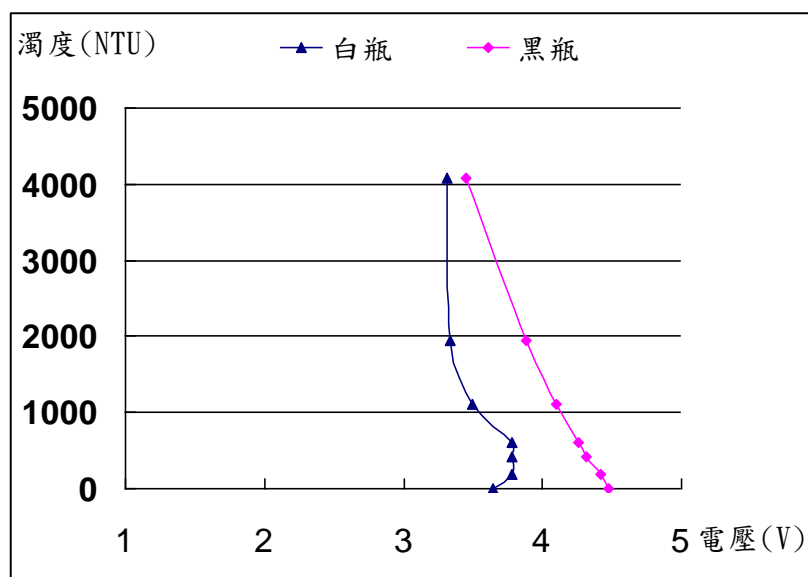


圖 4-1 以 S0 感測器測得之黑瓶與白瓶電壓

表 4-2 黑瓶與白瓶之 R^2 值

	白瓶	黑瓶
線性迴歸	$R^2=0.6498$	$R^2=0.984$
多項式迴歸	$R^2=0.8813$	$R^2=0.9995$

4.1.2 感測範圍實驗結果

本實驗使用三種不同輸出電阻之感測器，每個感測器測得 5 筆電壓值，取平均值製表，無法測得電壓變化者以空白表示(詳如表 4-3)。

表 4-3 感測器的濁度與電壓關係表

S0感測器		S1感測器		S2感測器	
濁度(NTU)	電壓值(V)	濁度(NTU)	電壓值(V)	濁度(NTU)	電壓值(V)
4071±6.7	3.45±0.011	3961±2.2	2.35±0.005	3961±2.2	1.11±0.008
1945±2.6	3.88±0.005	1877.8±3.7	3.27±0.011	1877.8±3.7	2.27±0.011
1105±4.4	4.095±0.05	1078.8±1.9	3.71±0.007	1078.8±1.9	3.09±0.011
607±3.7	4.255±0.011	594.4±0.9	4±0.005	594.4±0.9	3.6±0.019
412±1.3	4.32±0.008	403.4±1.1	4.17±0.005	403.4±1.1	3.83±0.016
191±1.4	4.42±0.005	149.2±0.8	4.29±0.01	149.2±0.8	4.06±0.019
0±0	4.45±0	100.8±0.8	4.34±0.008	100.8±0.8	4.11±0.008
		19.72±0.1	4.41±0.009	19.72±0.1	4.21±0.011
		0±0	4.43±0.01	0±0	4.23±0.011

所得數據之無濁度水樣電壓、電壓差、最低可感測濁度與檢量線的 R^2 值整理於表 4-4。理想的無濁度水樣電壓必須接近輸出電壓的上限或下限值，以本研究使用之 TBS-200 感測器為例，無濁度時理想感測電壓應為+5V；理想電壓差應該接近感測器輸出的電壓差，即 5V；至於理想的最低可感測濁度則以接近 0 NTU 者為佳。

無濁水樣的電壓計測結果，S0 與 S1 相近，且高於 S2 約 0.2V；電壓差大小反應能力方面，S2 大幅優於 S0 與 S1；最低可感測濁度能力方面，S1 與 S2 相近，皆優於 S0。濁度與電壓相關性若採二次多項式迴歸分析，三者 R^2 值皆可達 0.99 以上，採線性迴歸亦可達 0.97 以上。

分析結果，S2 的電壓差、最低可感測濁度表現最佳，其濁度電壓相關性，若以二次多項式分析結果與 S1 相近，在無濁度水樣計測的電壓雖是三者中最少，但與最高的 S0 相差僅 0.22V。

表 4-4 不同輸出電阻之感測器計測濁度與電壓能力差異

感測器	無濁度水樣電壓(V)	電壓差(V)	最低可感測濁度(NTU)	濁度與電壓(R^2)	
				線性	二次多項式
S0	4.45	1.000	200	0.9905	0.9994
S1	4.43	2.080	20	0.9908	0.9997
S2	4.23	3.120	20	0.9774	0.9967

將濁度與電壓計測結果以多項式迴歸製圖(圖 4-2)，觀察三個感測器在 1000 NTU 以內之斜率，其結果為 $S0 > S1 > S2$ 。S0 斜率最大表示可感測的濁度範圍最大但最不靈敏；S2 在 1000 NTU 以下的斜率最低，亦即 S2 感測器在此範圍內的解析能力最高。因此本研究選擇選擇 S2 感測器製作手持濁度計，並以二次多項式迴歸方程式，作為電壓與濁度轉換公式。

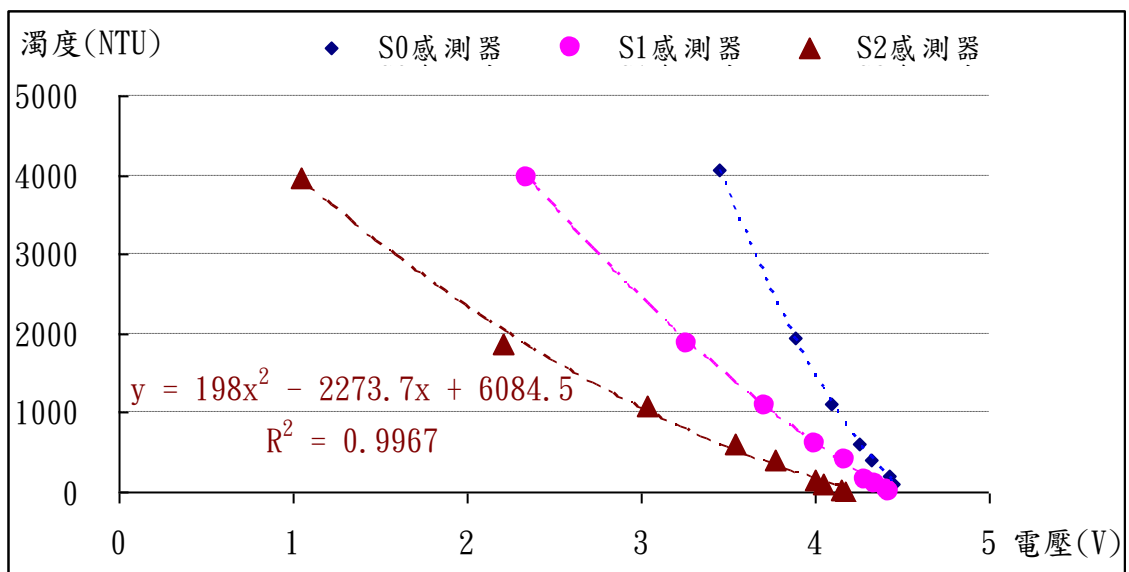


圖 4-2 三個感測器的濁度與電壓相關性分析結果

$$\text{濁度} = 198 \times (\text{電壓})^2 - 2273.7 \times (\text{電壓}) + 6084.5 \quad \dots\dots(\text{式 4-1})$$

4.1.3 成品

修改微控制器內部程式，將 ADC 傳回之電壓值平均結果，以式 4-1 轉換為濁度值，並將電壓值與濁度值顯示於 LCD 螢幕上，完成後之自製濁度計如圖 4-3。

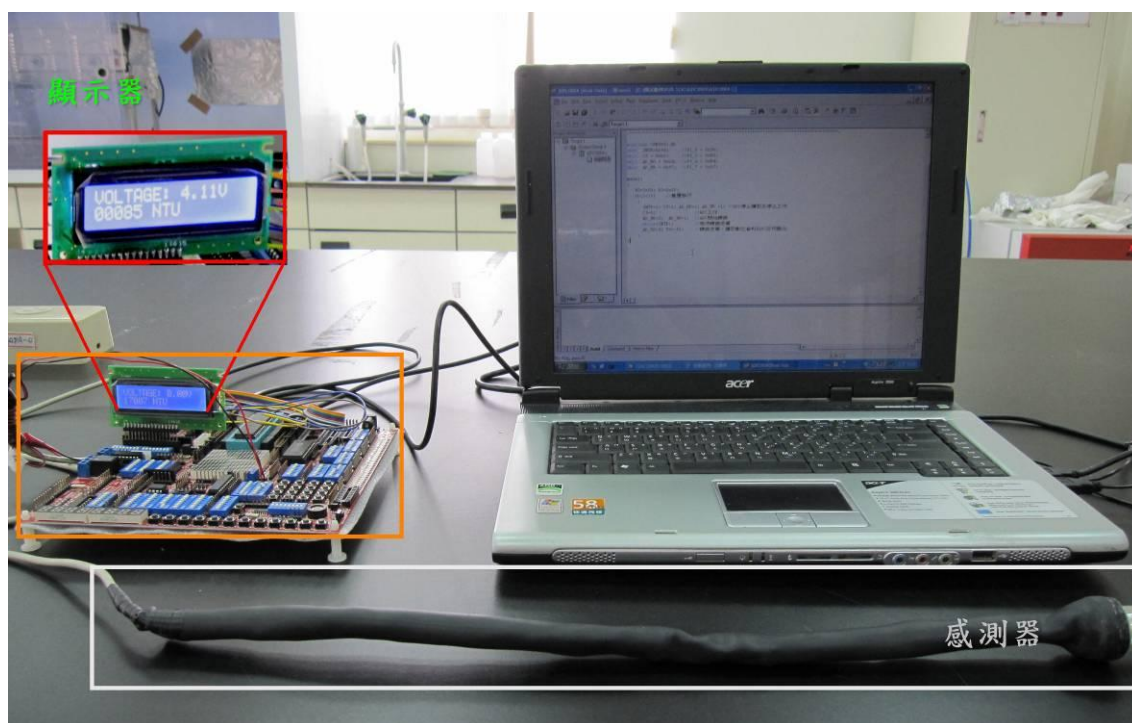


圖 4-3 自製濁度計成品

4.2 濁度與藻個數結果

將三種微藻的藻個數鏡檢結果，與兩種濁度計測數值進行分析，計算最大值、最小值、平均值、標準差(Standard Deviation, SD)與變異係數(Coefficient of variation, CV)，求得濁度與藻個數的相關性，其中變異係數可作為儀器可靠度之指標，變異係數越低代表該儀器之檢測值越可靠(Barter et al., 2003)。

4.2.1 周式扁藻(*Tetraselmis*)

鏡檢結果，6 瓶周式扁藻濃度由 50.67 至 174.33 $\times 10^4$ (cells/mL)(表 4-5)；自製濁度計計測時的水溫為 20.5 至 22 $^{\circ}\text{C}$ ，HACH 2100N 濁度儀計測時的水溫為 21 至 22 $^{\circ}\text{C}$ 。由於自製濁度計無法測得最低濃度之樣本，故以 5 瓶水樣之數據進行分析。

結果得知自製濁度計測得之數值較 HACH 2100N 略高，標準差也高於 HACH 2100N；量測讀值低於 20 NTU 的樣本時，自製濁度計最大變異係數達 25.9%，有失真之虞(表 4-6)。將數據製圖後(圖 4-4)亦可明顯發現自製濁度計測量值，除低於 20 NTU 的測值之外，餘皆高於 HACH 2100N，且呈現極佳之線性，與變異係數所出現的結果吻合。

表 4-5 周式扁藻鏡檢結果

樣本	藻個數(10^4 cells/mL)			平均(10^4 cells/mL)	標準差(10^4 cells/mL)
1	180.5	166.5	176	174.33	7.15
2	127.5	140.5	118	128.67	11.30
3	88	115	90.5	97.83	14.92
4	86	76.5	72.5	78.33	6.93
5	63	59	61	61.00	2.00
6	44	47	61	50.67	9.07

表 4-6 兩種濁度計測量周式扁藻濁度之比較

	樣本	最大值	最小值	平均	標準差	變異係數
HACH 2100N	1	47	42.3	44	1.658	4.2
	2	34.2	32.2	33.18	0.749	2.5
	3	25.1	24	24.58	0.371	1.7
	4	20.6	20.3	20.44	0.136	0.7
	5	16.8	16.3	16.48	0.183	1.2
自製 濁度 計	1	53	47	49.8	2.135	4.8
	2	42	30	37	4.000	12.1
	3	32	26	29	2.000	7.7
	4	27	23	24.8	1.470	6.6
	5	17	8	13.2	3.059	25.9

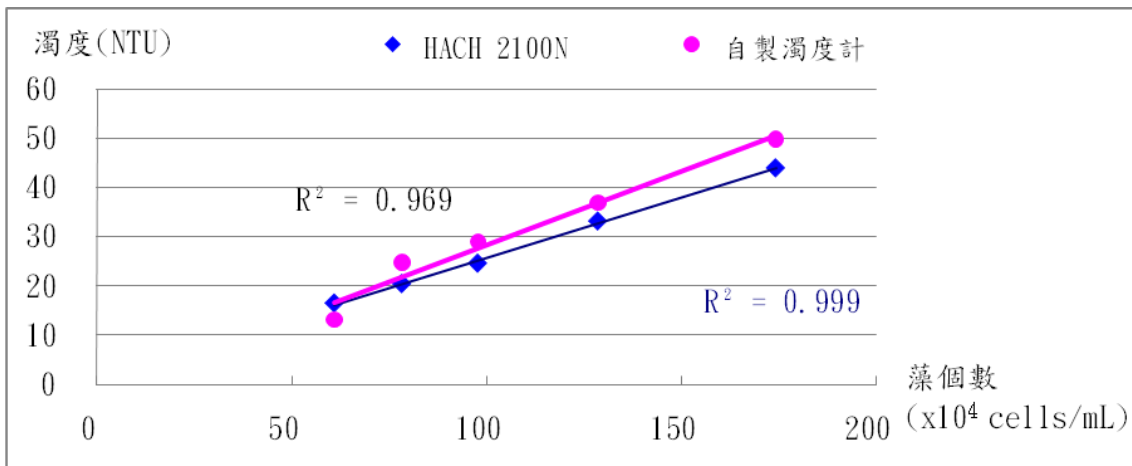


圖 4-4 以濁度計法與鏡檢法計測周式扁藻濃度結果之關係圖

4.2.2 等鞭金藻(*Isochrysi*)

鏡檢結果，6 瓶等鞭金藻濃度由 391.67~1132.5 × 10⁴ (cells/mL)(表 4-7)；自製濁度計計測時的水溫為 20 至 21.5℃，HACH 2100N 濁度儀計測時的水溫為 21 至 22℃；本藻與周式扁藻相同，皆無法測得最低濃度之藻水。

分析結果與周式扁藻略有出入，自製濁度計測得之數值皆低於 HACH 2100N，雖然低濁度樣本的變異係數仍達 14%，但較測量周式扁藻表現略佳(表 4-8)。將結果製圖後(圖 4-5)亦可明顯發現自製濁度計測量值皆低於 HACH 2100N 甚多，但仍呈現極佳之線性。

表 4-7 等鞭金藻鏡檢結果

樣本	藻個數(10 ⁴ cells/mL)			平均(10 ⁴ cells/mL)	標準差(10 ⁴ cells/mL)
1	1087.5	1175.0	1135.0	1132.50	43.80
2	927.5	945.0	935.0	935.83	8.78
3	802.5	770.0	772.5	781.67	18.09
4	690.0	645.0	687.5	674.17	25.29
5	482.5	540.0	480.0	500.83	33.94
6	395.0	402.5	377.5	391.67	12.83

表 4-8 兩種濁度計測量等鞭金藻濁度之比較

	樣本	最大值 (NTU)	最小值 (NTU)	平均 (NTU)	標準差 (NTU)	變異係數 (%)
HACH 2100N	1	75.1	74	74.5	0.400	0.6
	2	61.3	59.8	60.68	0.564	1.0
	3	53.1	52.7	52.9	0.141	0.3
	4	43	42.2	42.56	0.273	0.7
	5	35.7	35.3	35.46	0.136	0.4
自製 濁度 計	1	53	48	51	1.897	4.2
	2	46	38	42.2	2.993	7.9
	3	38	31	35.6	2.498	7.8
	4	28	21	24.6	2.577	11.7
	5	22	16	18	2.280	14.2

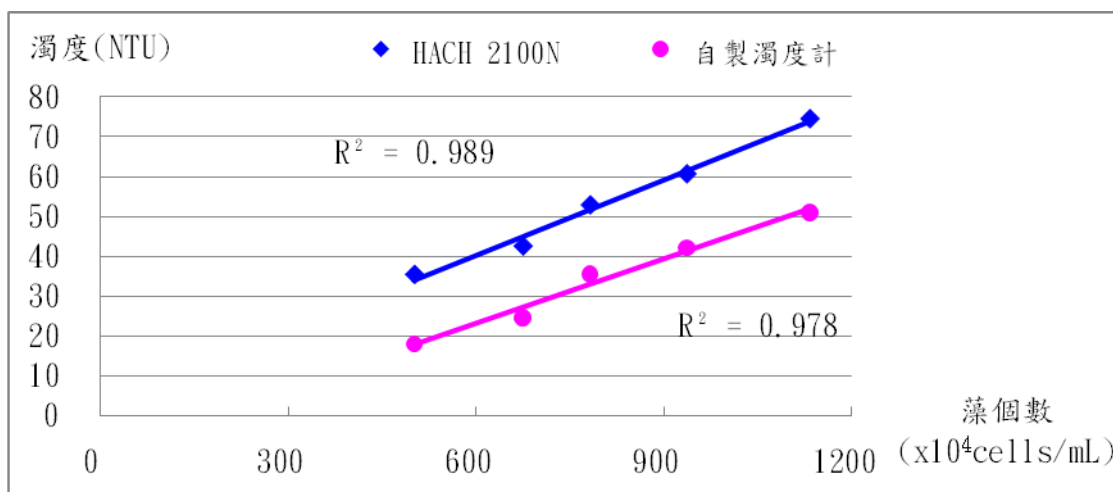


圖 4-5 以濁度計法與鏡檢法計測等鞭金藻濃度結果之關係圖

4.2.3 紅球藻 (*Haematococcus*)

紅球藻之細胞直徑約 5~20 μm 差異頗大，本研究以顯微鏡觀察後，推估實驗之紅球藻大小約 6~10 μm 。鏡檢結果，紅球藻為三種微藻中濃度最高者，藻水濃度由 621.67~1912.5 $\times 10^4$ (cells/mL) (表 4-9)。

紅球藻的藻個數與濁度呈現之結果與等鞭金藻類似，但本實驗中自製濁度計之變異係數表現較優，約在 8% 以下 (表 4-10)。製圖 (圖 4-6) 後可發現其結果與等鞭金藻類似，雖然自製濁度計測得之濁度值僅有 HACH 2100N 之 60%~70%，但仍維持良好線性關係。

表 4-9 紅球藻鏡檢結果

樣本	藻個數 (10^4 cells/mL)			平均 (10^4 cells/mL)	標準差 (10^4 cells/mL)
1	1852.5	1792.5	2092.5	1912.50	158.75
2	1392.5	1690	1437	1506.50	160.47
3	1117.5	1207.5	1122.5	1149.17	50.58
4	895	950	915	920.00	27.84
5	855	737.5	707.5	766.67	77.96
6	700	572.5	592.5	621.67	68.57

表 4-10 兩種濁度計測量紅球藻濁度之比較

	樣本	最大值 (NTU)	最小值 (NTU)	平均 (NTU)	標準差 (NTU)	變異係數 (%)
HACH 2100N	1	163	160	161.4	1.020	0.7
	2	133	131	131.8	0.748	0.6
	3	110	108	109	0.894	0.9
	4	90.8	89.9	90.38	0.331	0.4
	5	75.3	74	74.72	0.487	0.7
	6	62.6	62	62.3	0.200	0.4
自製 濁度計	1	126	114	120.4	3.929	3.6
	2	93	87	89.8	1.939	2.4
	3	87	76	81.6	4.128	5.7
	4	59	51	55.2	2.713	5.5
	5	55	45	49	3.347	7.6
	6	39	32	36.2	2.400	7.4

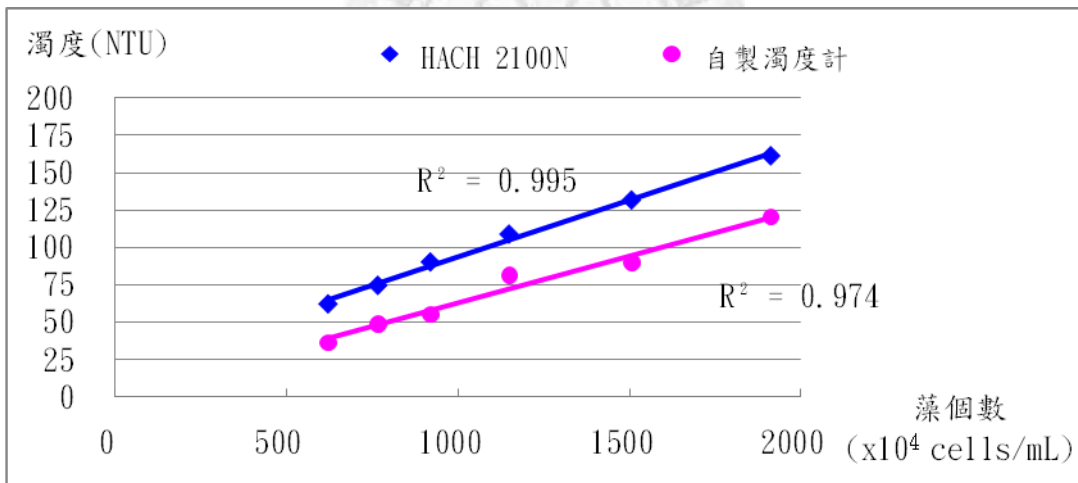


圖 4-6 以濁度計法與鏡檢法計測紅球藻濃度結果之關係圖

4.3 濁度與藻重量結果

本節針對三種微藻的乾重結果與兩種濁度計測數值製圖，並分析濁度與藻重量的相關性。

4.3.1 周式扁藻(*Tetraselmis*)

由 4.2.1 結果，取 5 瓶藻水進行乾重，測得周式扁藻的乾重由 85.39~174 mg/L，製圖(圖 4-7)後發現濁度與藻重量的相關性，略差於濁度與藻個數的相關性， R^2 值約 0.92-0.93，自製濁度計略優於 HACH 2100N。

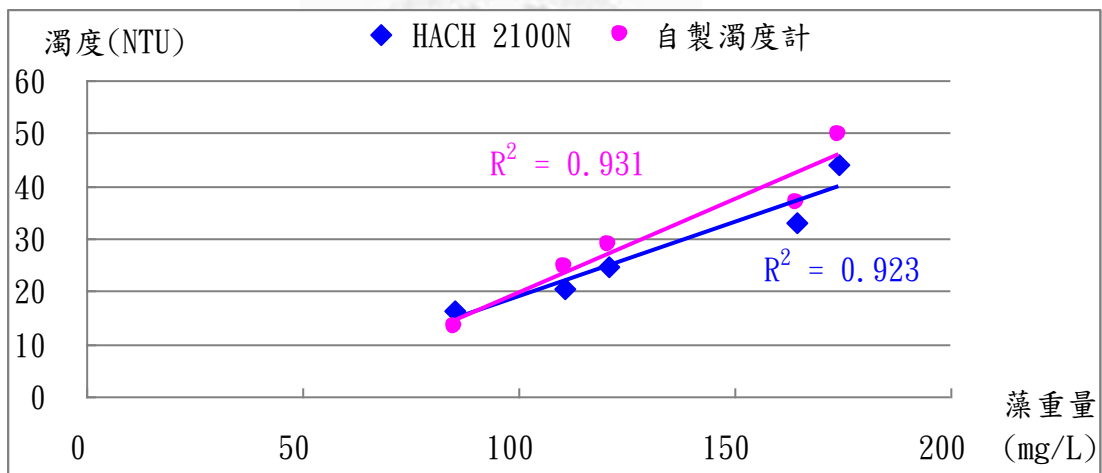


圖 4-7 周式扁藻濁度與藻重量關係

4.3.2 等鞭金藻(*Isochrysis*)

由 4.2.2 結果，取 5 瓶藻水進行乾重，測得等鞭金藻的乾重由 91~228 mg/L。製圖(圖 4-8)結果與周式扁藻不同，等鞭金藻的藻重量與濁度的相關性較佳，使用 HACH 2100N 時 R^2 值可達 0.978，而自製濁度計的 R^2 值也由 0.931 略升至 0.937。

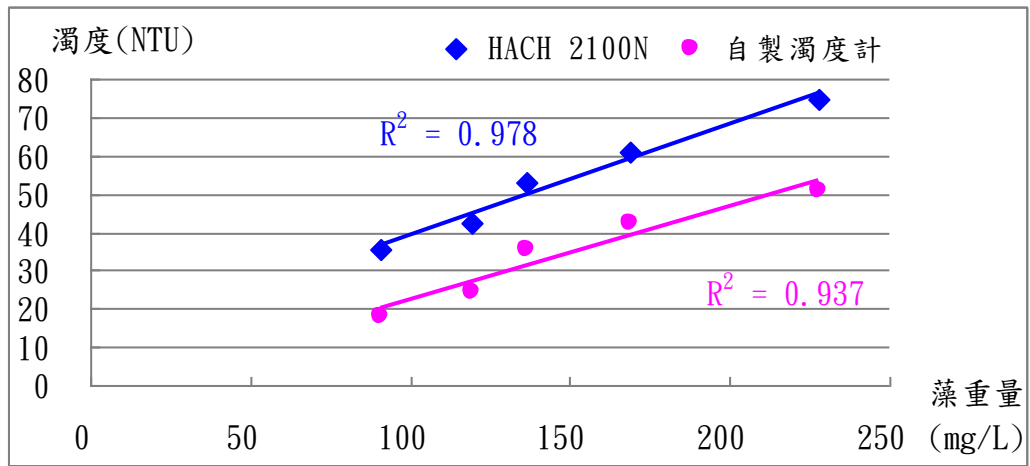


圖 4-8 等鞭金藻濁度與藻重量關係

4.3.3 紅球藻 (*Haematococcus*)

由 4.2.3 結果，取 6 瓶藻水進行乾重，測得紅球藻的乾重由 130~329 mg/L。製圖(圖 4-9)結果與等鞭金藻類似，使用 HACH 2100N 時 R^2 值可達 0.97，自製濁度計的 R^2 值為 0.945，略優於周式扁藻與等鞭金藻。

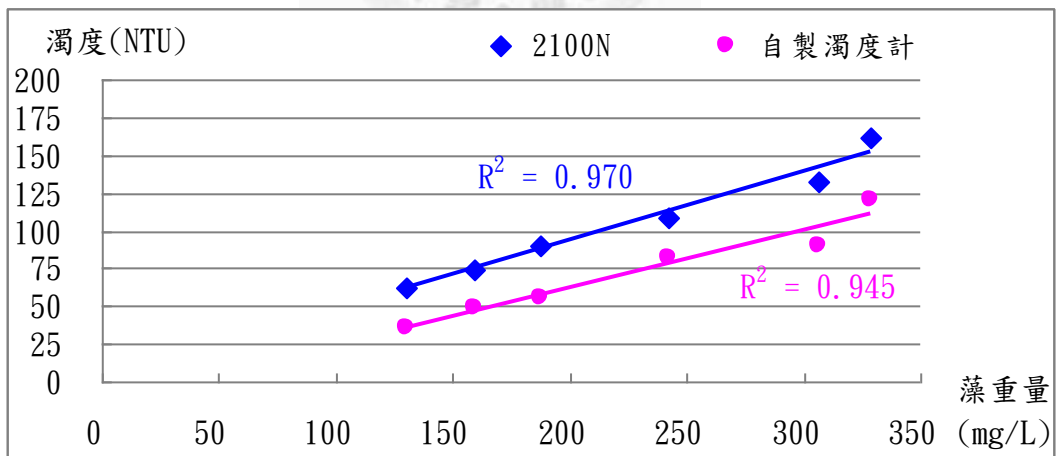


圖 4-9 紅球藻濁度與藻重量關係

4.4 自製濁度計計測微藻濃度之比較與適用性

4.4.1 自製濁度計與 HACH 2100N 濁度儀之比較

將自製濁度計測得之濁度值，與 HACH 2100N 濁度儀之測值進行比較，取三種微藻所有的濁度計測結果進行線性迴歸，得到 R^2 值為 0.91(圖 4-10)；由線性迴歸方程可推估，自製濁度計的濁度讀值低於 HACH 2100N 濁度儀，約為其 66%。

若將不同藻種之濁度數據分別進行迴歸，得到的 R^2 值顯著提高至 0.96 以上(圖 4-11)。其中相關性最低的是周式扁藻，從圖 4-10 中也明顯發現周式扁藻的數據落點明顯與其他兩種微藻不同。忽略周式扁藻的數據重新製圖後(圖 4-12)，自製濁度計與 HACH 2100N 的相關性大幅提高到 0.98 以上。

與 Uytendaal(2003)的研究結果比較，手持式濁度計 McVan NEP160 與濁度計 HACH 2100P 之 R^2 值約為 0.98，手持濁度計測值約為一般濁度計之 80%；本研究若排除周氏扁藻的濁度數據後，自製濁度計與 HACH 2100N 濁度儀讀值之 R^2 值由 0.91 提高至 0.98，濁度讀值由濁度儀的 66% 提高至 78%，與前人研究結果相近。

測值誤差方面，HACH 2100N 濁度儀量測三種微藻的變異係數在 0.3 ~ 4.2%，自製濁度計的變異係數為 2.4 ~ 25.9%，HACH 2100N 濁度儀明顯優於自製濁度計。

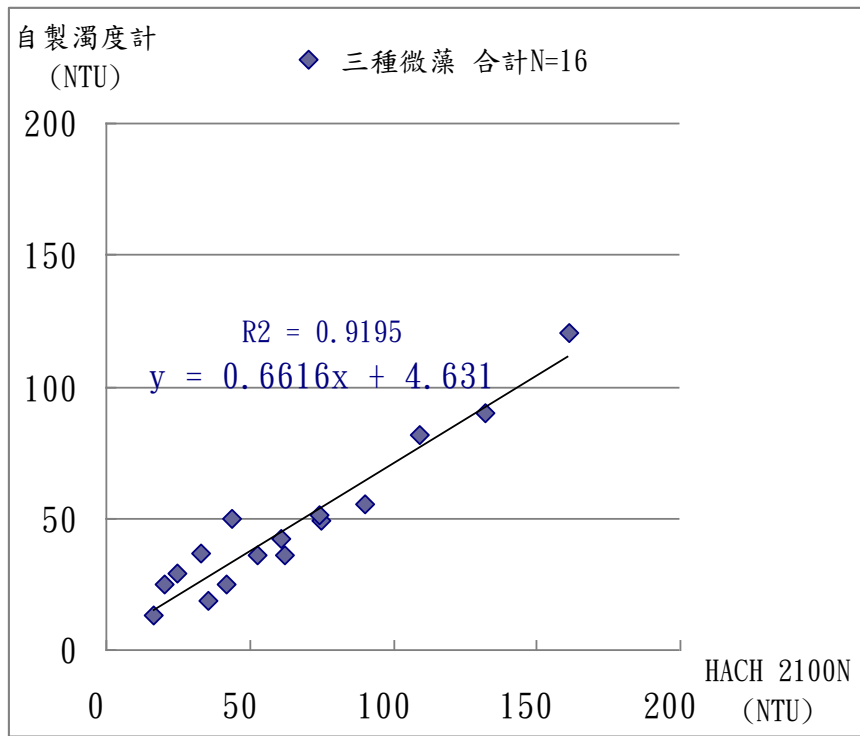


圖 4-10 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度比較

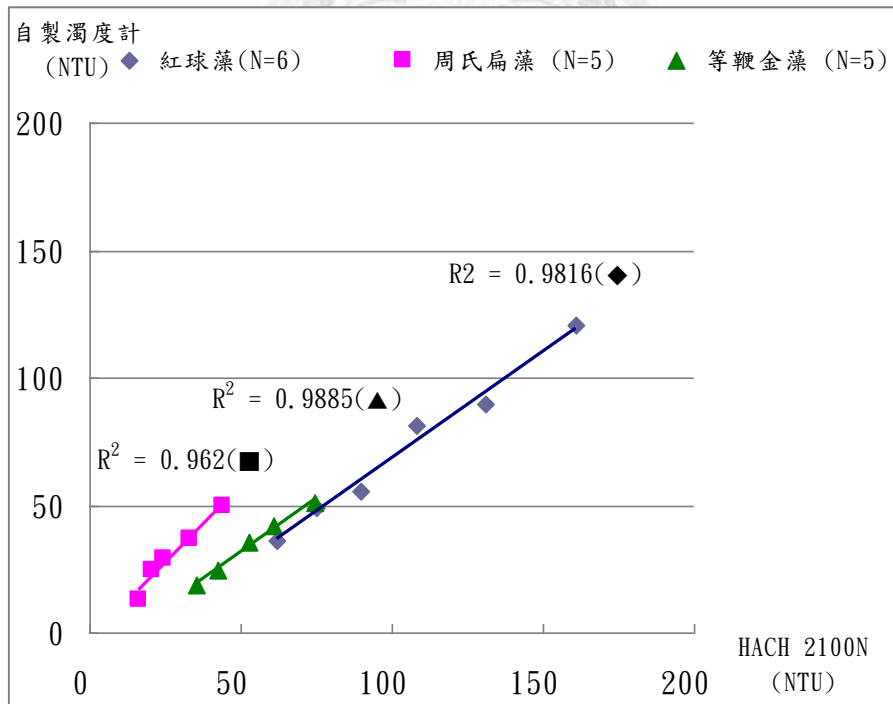


圖 4-11 不同微藻測得之濁度比較

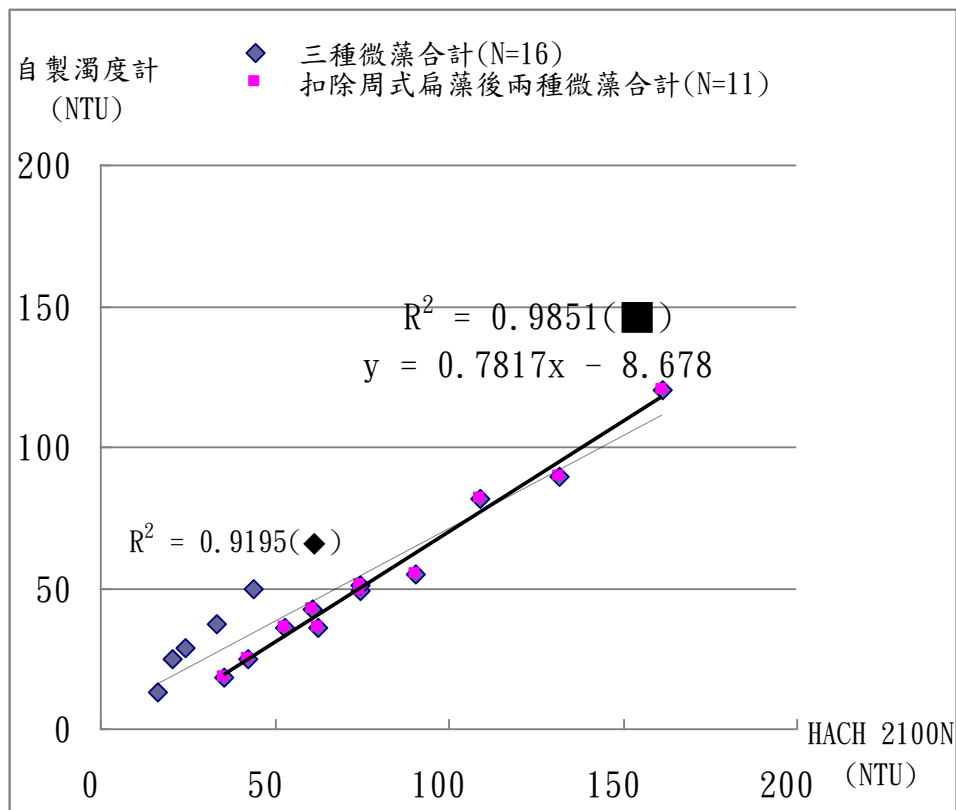


圖 4-12 不計入周式扁藻數據後之相關性比較

將自製濁度計與 HACH 2100N 濁度儀測得之濁度，分別與三種微藻之藻個數與藻重量計測結果製圖(圖 4-13、4-14)，初步結果自製濁度計的濁度與藻個數的相關性遜於 HACH 2100N，但與藻重量的相關性優於 HACH 2100N。

比對圖 4-13、4-14 與圖 4-4 至 4-9 的結果，可知以濁度推測單一藻種的藻個數或藻重量相關性的結果甚佳， R^2 值皆在 0.92 以上，但若將不同藻種的計測數據合併分析後，濁度與藻個數的相關性將大幅降低。以本研究的結果而言， R^2 值從 0.97(周式扁藻)降低至 0.89~0.73；但藻重量的相關性差異較不明顯，就 HACH 2100N 而言， R^2 值由平均 0.957 降至 0.865，但自製濁度計則較無差異。

圖 4-13 中亦可明顯發現，濁度與藻個數進行相關性分析時，不論是

自製濁度計或 HACH 2100N 濁度儀之濁度值，皆呈現出明顯的區塊分布，證實以濁度推測微藻的藻個數，不同微藻必須單獨分析。

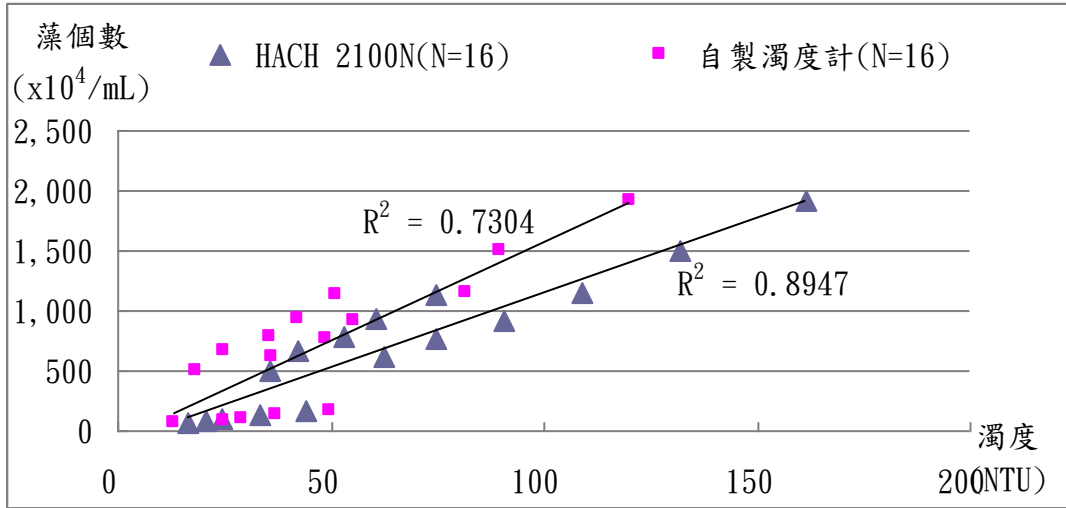


圖 4-13 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度與藻個數相關性

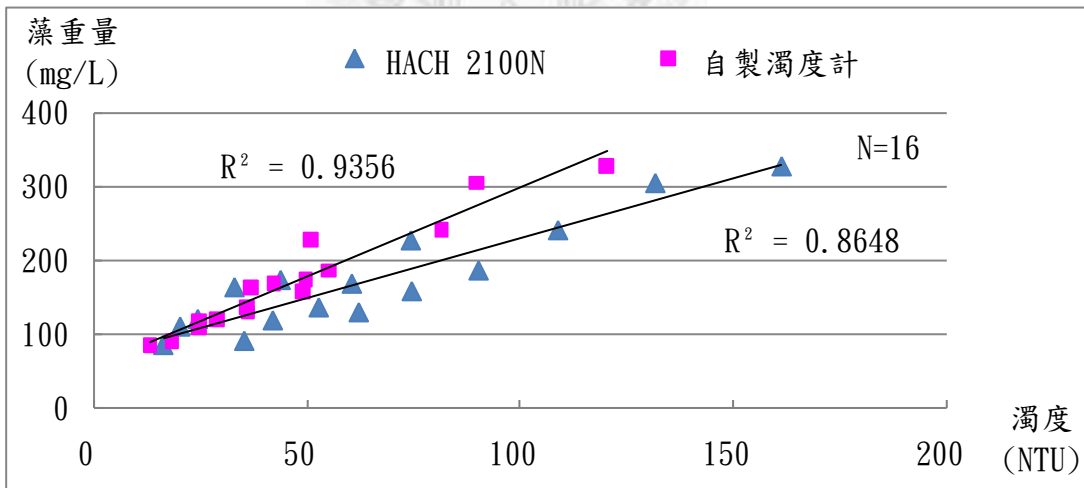


圖 4-14 自製濁度計與 HACH 2100N 測得之濁度與藻重量相關性

4.4.2 適用性分析

將三種微藻之藻個數鏡檢結果、藻重量及自製濁度計測得之濁度讀值，整理如表 4-11，並進行討論。

由濁度讀值與藻個數計測結果得知，雖然周式扁藻與等鞭金藻的濃度相差超過 6 倍，但濁度測值卻非常接近，文獻記載周式扁藻的細胞直徑約為 8 - 16 μm ，而等鞭金藻為 3 - 7 μm ，本研究鏡檢法觀測結果，周式扁藻體長約 13 - 15 μm 體寬約 8 - 9 μm ，等鞭金藻直徑約 4 - 6 μm ，兩者體積相差超過 5 倍，因此推測原因主要來自於細胞大小的影響。此一現象也出現在藻重量計測結果，兩者濃度相差超過 6 倍，但重量差距僅為 1.2 倍左右，顯見藻體大小對於藻重量的影響非常明顯。

藻個數相關性分析部份，三種藻類不論以線性或多項式迴歸，其 R^2 值皆大於 0.97，但周式扁藻與等鞭金藻的相關性略優於紅球藻；將三種微藻測得之濁度差除以藻個數差，求得線性分析檢量線之斜率，其結果周式扁藻的斜率遠大於另外二者達 5 倍以上，亦是細胞大小差異造成；以濁度為 x 藻個數為 y ，列出線性回歸方程式並將 x 帶入 1 後，求得自製濁度計對三種微藻適用之最低濃度，分別為周式扁藻 12.126(10^4 cells/mL)、等鞭金藻 203.611(10^4 cells/mL)、紅球藻 48.735(10^4 cells/mL)。

三種微藻的藻重量與自製濁度計測量的數據分析結果，得知三種微藻的重量與濁度之相關性，最佳者為等鞭金藻，其次為紅球藻，三者 R^2 值皆大於 0.93。三種微藻測得之濁度差除以藻重量差，求得線性分析檢量線之斜率，其結果與藻個數分析相同，周式扁藻的斜率大於另外二者 3 倍以上。以濁度為 x 藻重量為 y ，列出線性回歸方程式並將 x 帶入 1 後，可得知自製濁度計可測得之最低藻重量，分別是周式扁藻

52.804(mg/L)、等鞭金藻 20.985(mg/L)、紅球藻 46.535(mg/L)，自製濁度計對等鞭金藻的藻重量反應較靈敏，對周式扁藻與紅球藻重量的反應相近。

自製濁度計的變異係數表現，以量測紅球藻時的變異係數最小，周式扁藻的變異係數最大，但與 Barter et al. (2003) 的研究結果相比，仍屬可信任之範圍。值得一提的是，不論計測何種微藻，變異係數較高的數據皆出現在濁度較低的水樣，推測為自製濁度計對於接近偵測極限的樣本穩定度不足。將自製濁度計測得之濁度，與變異係數繪製圖 4-15，可知測得之濁度越低，其變異係數越大，而當濁度大於 50 NTU 左右，變異係數會低於 10%。

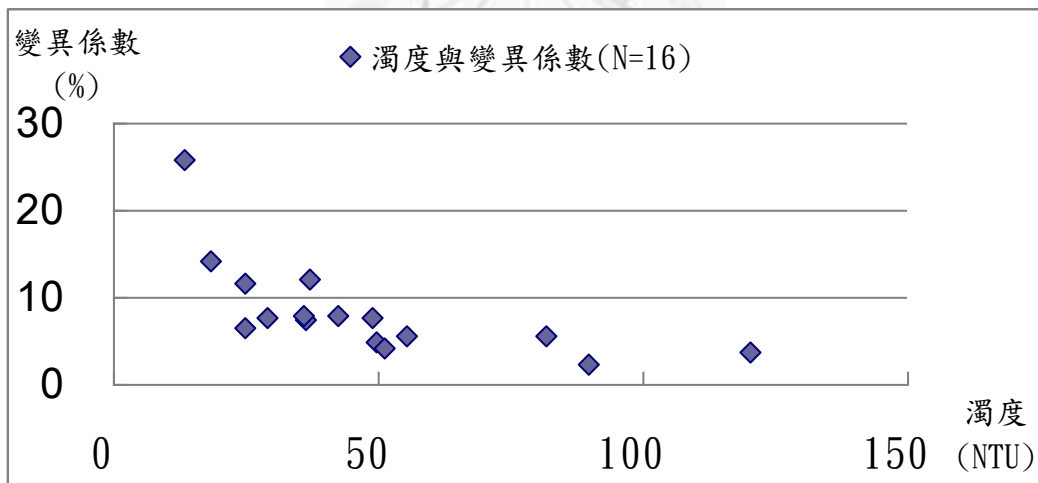


圖 4-15 自製濁度計測得之濁度平均值與變異係數

表 4-11 自製濁度計量測三種微藻之濁度與藻個數、藻重量分析表

			周式扁藻	等鞭金藻	紅球藻
藻個數 (10^4 cells/mL)			61-174.33	391.67-1132.5	621.67-1912.5
藻重量 (mg/L)			85.39-174	91-228	130-329
濁度	最大	平均	49.8 (n=5)	51 (n=5)	120.4 (n=6)
		極大值	53	53	126
	最小	平均	13.2 (n=5)	18 (n=5)	36.2 (n=6)
		極小值	8	16	32
最大變異係數 (CV %)			25.9	14.2	7.636
藻個數 相關性	線性	R^2	0.969	0.978	0.9737
		斜率	0.323	0.045	0.065
		方程式	$y = 3.2227x + 8.903$	$y = 18.071x + 185.54$	$y = 15.448x + 33.287$
	多項式	R^2	0.99	0.9825	0.9761
		方程式	$y = 0.0383x^2 + 0.7904x + 41.773$	$y = 0.1239x^2 + 9.5845x + 313.43$	$y = 0.031x^2 + 10.627x + 194.98$
藻重量 相關性	線性	R^2	0.9307	0.9366	0.9447
		斜率	0.243	0.053	0.077
		方程式	$y = 2.6272x + 50.177$	$y = 3.8386x + 17.147$	$y = 2.5188x + 44.016$
	多項式	R^2	0.9365	0.9806	0.9629
		方程式	$y = -0.0167x^2 + 3.6897x + 35.819$	$y = 0.0884x^2 - 2.2134x + 108.35$	$y = -0.014x^2 + 4.7024x - 29.213$

4.4.3 自製濁度計電壓輸出分析

將自製濁度計的感測器輸出電壓記錄於表 4-12，得知三種微藻的計測過程中，S2 感測器所傳回的電壓訊號之電壓差僅有 0.06 - 0.14V 由表 4-4 可知 S2 感測器實測之電壓差可達 3.12V，而所測得之電壓差僅佔該感測器的 2 ~ 4.5%，可知本研究雖然試圖提高 TBS-200 感測低濁度之能力，但用於藻水的濁度計測仍然過高。

將電壓測值與藻個數及藻重量進行迴歸分析後發現，使用線性或二次多項式的迴歸結果皆相當接近，推測其主因是 x 變數(電壓)在樣本中的數值太過接近所致。

表 4-12 TBS-200(S2)感測器輸出電壓與藻個數、藻重量之相關性

		周式扁藻	等鞭金藻	紅球藻
電壓	Max	4.23(4.24)	4.22(4.23)	4.192(4.20)
	Min	4.17(4.16)	4.164(4.16)	4.056(4.05)
	電壓差	0.06	0.06	0.14
藻個數(10^4 cells/mL)	線性 R^2	0.9141	0.9927	0.979
	多項式 R^2	0.9725	0.9927	0.9861
藻重量 (mg/L)	線性 R^2	0.8913	0.9627	0.9725
	多項式 R^2	0.8928	0.9859	0.9725

4.5 經濟性分析

實驗結果，本研究以自製濁度計量測微藻的濁度，並與其藻個數與藻重量進行相關性分析，皆可得到極佳之相關性。

由於本研究以德源科技之單晶片綜合實驗板取代主要電路，參考德源科技(2008)的電路圖，將自製濁度計使用的電路獨立繪製(詳見附錄二)，列出自製濁度計所需之材料，並透過網路搜尋零件之售價，列於表 4-13。因 TBS-200 感測器屬於未流通商品無法公開價格，故不予列入；另外開發過程所需之晶片燒錄器及人力成本亦不列入材料單價內。若假設 TBS-200 價格為新台幣 500 元，粗估自製濁度計造價在新台幣 1500 元以內，與 HACH 2100N 濁度儀或其他水質相關儀器售價約 3-15 萬相比，具低造價優勢。

表 4-13 自製濁度計材料成本

項目	規格	單價(元)
TBS-200濁度感測器		不列入
微控制器	AT89S52	34
類比數位轉換器	ADC 0804	70
顯示器	KM1602A LCD	100
雙面萬用板	10 x 15 cm	80
DIP插座	16pin 20pin 24pin	75
石英震盪器	24MHz	5
電阻、電容	各種規格若干	200
漆包線與焊材		50
變壓器	DC 5V 200mA	100
總計		714

(資料來源：雅虎奇摩拍賣網站；2010 年 6 月)

第五章、結論與建議

5.1 結論

1. 本研究使用膨潤土調製不同濃度之標準液，計測 0~4000 NTU 水樣後，得知自製濁度計使用之 TBS-200 感測器易受環境光干擾，使輸出電壓產生跳動現象。使用本自製濁度計，應以黑樣本瓶進行測試，主要原因應為感測元件本身並無針對光源之波長濾波。若可將感測元件換成具有針對光源波長進行濾波的感應器，或於感測元件上增加一濾光片，應可使環境光的干擾程度降低。
2. 本研究計測三種微藻調製之不同濃度藻水，其濁度在 163 NTU 以內。將濁度計測結果分別與藻個數及藻重量計算斜率，得知周式扁藻的斜率遠大於另外二者，推測是細胞大小差異造成。
3. 三種微藻之濁度計測結果與藻個數進行相關性分析時，不論自製濁度計或 HACH 2100N 的濁度讀值，皆會呈現三個不同的群組分布，由於三種微藻之物理特徵如大小、形狀、顏色不同，可證實以濁度法推估微藻濃度時，不同物理特徵之微藻必須單獨分析。
4. 三種微藻的相同樣本，以自製濁度計及 HACH 2100N 濁度儀進行計測，兩種儀器測得之結果其結果相關性達 0.91。若不計入周式扁藻樣本數據更可提高到 0.98，顯示自製濁度計對周式扁藻的計測結果與 HACH 2100N 略有差異，可能因周式扁藻藻水濃度較低，造成自製濁度計測值高估。
5. 自製濁度計測得之濁度，與藻個數的相關性優於藻重量之相關性，不論以線性或二次多項式迴歸，其結果皆高於 0.97，推測其原因可能是三種

微藻的生理特性與生長階段不同，以至於藻重量因為藻細胞的飽滿程度，而發生高估或低估的情形。

6. HACH 2100N 濁度儀之變異係數為 0.3 ~ 4.2%，明顯優於自製濁度計為 2.4 ~ 25.9%；自製濁度計的變異係數，以紅球藻低於 8% 表現最佳，其次為等鞭金藻的 14.2%，周式扁藻表現最差，推測應是周式扁藻的濁度較低，已接近感測極限所致；自製濁度計之濁度讀值與變異係數進行分析後，建議藻水濁度高於 50 NTU 以上，可獲得較穩定的計測值。
7. 三種微藻中以等鞭金藻之藻個數與藻重量的反應最佳，二次多項式之 R^2 值皆高於 0.98，最低可感測的藻個數是 203.611×10^4 cells/mL，藻重量是 20.985 mg/L。
8. 自製濁度計的材料費用應低於新台幣 1500 元，惟其受到感測器的功能影響甚大，因此仍需針對不同感測器進行檢量線製作與校正，但以其低廉之成本與可接受的正確性，仍屬經濟實惠的設計。

5.2 建議

1. 本研究所得三種微藻與濁度之迴歸公式，可做為日後發展微藻濃度計之檢量公式。其它廣泛養殖之微藻如單細胞綠藻(*Chlorella*)、螺旋藻(*Spirulina*)與杜式藻(*Dunaliella*)等，亦可參照本研究之方法進行實驗，求得濁度與微藻濃度檢量線。
2. TBS-200 易受環境光的影響，若應用於單細胞綠藻(*Chlorella*)或隱甲藻(*Cryptocodinium cohnii*)等微藻的發酵槽養殖法，其無光且極高濃度的生產環境，對採 TBS-200 濁度感測器之手持濁度計而言，適用程度極高。

3. 本研究使用之三種微藻其物理特徵皆有差異，若選擇物理特徵相近之微藻，如單細胞綠藻與擬球藻(*Nannochloris*)進行研究，應可釐清微藻物理特徵對濁度法的影響程度。
4. 本研究基於不修改感測器設計之前提，僅對輸出電阻進行調整。由實測結果，TBS-200 的感測範圍仍然可高達 4000 NTU 以上，因此並不適用於藻水濃度的計測應用上。另外修改輸出電阻值，使得無濁環境的電壓下降之作法，會造成濁度計的靈敏度降低，後續不建議使用。建議可選擇較精確高階之光接收器，或使用解析度 12bit 以上之 ADC，應可獲得較精確之計測結果。
5. 若微控制器增加外部記憶體(Extended memory)，使記憶空間擴充，搭配聯繫電腦之傳輸介面，將可發展自動記錄的功能。強化微控制器之電源管理與電路設計，增加驅動電路，則可發展自動控制的功能。

參考文獻

1. 王藝蓉(2003)，以光生化反應器培養微藻生產脂肪酸，大葉大學食品工程學系研究所，碩士論文。
2. 王弘文(2006)，濁度感測器使用溫度補償之研究，國立東華大學電機工程研究所，碩士論文。
3. 王奕軒(2006)，自來水中木頭味物質 β -cyclocitral 之來源及去除之研究，國立成功大學環境工程學研究所，碩士論文。
4. 王淳弘(2007)，前氧化劑對於藻體胞外物作用之影響，國立成功大學環境工程學研究所，碩士論文。
5. 林昀輝、吳佩芬、盧文章、李宏台(2007)，生質柴油的發展與推動，經濟部能源局，生質燃料技術開發與推廣四年計畫，成果報告。
6. 林哲毅(2008)，以微藻生產生質柴油之未來發展，經濟部能源局 能源報導 97 年 4 月號。
7. 吳佩芬(2006)，利用本土淡水藻類產製生質柴油之可行性評估，逢甲大學環境工程與科學研究所，碩士論文。
8. 邱鈺婷(2007)，藻類胞外物對 UF 膜組塞之影響，國立成功大學環境工程學研究所，碩士論文。
9. 周宏農、李佳峰(1992)，藻類在廢水處理上的應用，台灣環境保護 V.9，P27-34。
10. 周廷耀(2003)，碳源的添加對等鞭金藻增殖的影響，國立中山大學海洋生物研究所，碩士論文。
11. 侯棋彝(2002)，以濁度計量化立體式九孔養殖池固形物濃度之研究，國立台灣大學生物環境系統工程學研究所，碩士論文。
12. 高瑜華(2007)，以光學式濁度計探討不同混凝劑對含藻人工原水處理效果之研究，國立聯合大學環境與安全衛生工程學研究所，碩士論文。

13. 袁澣(1987)，浮游生物學，南山堂出版社，P57-63。
14. 徐明光(1999)，台灣的淡水浮游藻(I)通論及綠藻(1)，國立台灣博物館出版。
15. 徐振豐(2009)，水產養殖技術-藻類養殖與應用實務，僑務委員會中華函授學校出版。
16. 畢英君，楊承恩，田玉琴(2002)，一種用 80C31 實現的智慧化濁度儀，自動化與儀器儀表，P44-46。
17. 陳衍昌、江永棉(1994)，青海菜原生質體之分離及培養，生物技術在水產養殖上應用研討會論文集，P127-138。
18. 陳冠言(2009)，一階段逆境培養兩生紅球藻，臺灣大學化學工程學研究所，碩士論文。
19. 陳曄翰、翁韶蓮、李育儒、陳珮瑜、陳振正(2009)，提升微藻生質能源潛勢之研究，2009 資源與環境學術研討會論文。
20. 黃振傑(2007)，沉砂池泥砂沉降特性之研究，逢甲大學水利工程學研究所，碩士論文。
21. 楊忠煌、黃博俊、李文昌(2002)，單晶片 8051 實務與應用，全華科技圖書(股)，ISBN 957-21-2929-5。
22. 雷淇祥，蘇惠美(1985)，草蝦苗以不同餌料餵飼時之生長及生存率，台灣水產學會刊 12: P54-67。
23. 葉俊良(2006)，在光生化反應器中以二階段策略培養微藻生產油脂之研究，國立成功大學化學工程學研究所，碩士論文。
24. 趙文榮，曾金成，陶申秋(2003)，餌料生物學(全)，第二章 植物性餌料生物之培養，儒林出版社，頁 35-90。
25. 德源科技(2008)，8051 及 AVR 和 PIC 綜合實驗板使用說明。
26. 劉昌宇(1998)，藻類(*Haematococcus*)做為天然呈色劑，飼料營養雜誌，九八年九期，P30-32。
27. 劉貴仁(2002)，庫達海馬(*Hippocampus kuda*)幼苗培育之研究，國立中山大

- 學海洋生物研究所在職專班，碩士論文。
28. 蔡郁佳(2007)，浮游藻類之種類數量檢測及辨識系統之研究，國立台灣大學環境工程學研究所，碩士論文。
 29. 鄧達祺(1993)棘輻肛參(*Actinopyga echinites*)初期幼生飼育方法的研究，台灣大學漁業科學研究所，碩士論文。
 30. 証金華、陳紫嫻、蘇惠美、陳鏗元、黃美英、蘇茂森、廖一久(1998)，台灣產巨牡蠣之種苗培育與單體牡蠣之幼發試驗，水產研究 6: P25-33。
 31. 鄭宗欽(2008)，自動化影像辨識系統檢測藻類數量及種類方法之研究，國立台灣大學環境工程學研究所，碩士論文。
 32. 環保署(2005)，水中濁度檢測方法-濁度計法，行政院環保署，NIEA W219.52C。
 33. 環保署(2006)，水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法—103°C~105°C 乾燥，行政院環保署，NIEA W210.57A。
 34. 環保署(2009)，飲用水水質標準，行政院環保署。
 35. 謝盈如(2009)，以濁度線上連續監測系統探討不同混凝劑之混凝膠羽特性，國立聯合大學環境與安全衛生工程學研究所，碩士論文。
 36. 謝誌鴻、吳文騰(2009)，微藻—綠色生質能源，科學發展 433: P36-40。
 37. 蘇惠美、蘇茂森、廖一久(1995)，極小型輪蟲之篩選及其培養條件，水產研究。
 38. 蘇惠美，(1999)，餌料生物之培養與利用，台灣省水產試驗所東港分所。
 39. 闕壯群(2002)，台灣生技產業及升級實例及投資分析—以微藻產業為例，生技產業導論課程講義。
 40. 經濟部礦物局(2010)，礦物與岩石：膨潤土 *Bentonite* (<http://www.mine.gov.tw/Bible/ViewMineral.asp?view=m35>)。

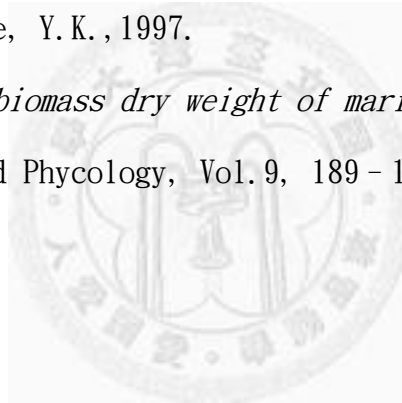
41. Ahmad Fairuz Bin Omar and Mohd Zubir Bin MatJafri, 2009.
Turbidimeter Design and Analysis: A Review on Optical Fiber Sensors for the Measurement of Water Turbidity.
Sensors, (9), 8311–8335.
42. Anderson, Chauncey W., 2004.
USGS Water Quality Technical Memorandum. USGS National Field Manual.
43. Anderson, Chauncey W., 2005. *Chapter 6. Field Measurements 6.7 Turbidity.* USGS TWRI BOOK(9), Version 2.1.
44. APHA, 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th.* Part 2130 Turbidity.
45. Atmel Co., 2005. *ATmega48/88/168 Flash Microcontrollers.*
Micro Controller Data Sheet.
46. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC) and Agricultural and Resource Management Council of Australia and New Zealand (ARMCANZ), 2000. *ANZECC water quality guidelines.*
47. Barter, Paul J., Deas, Toni, 2003. *Comparison of portable nephelometric turbidimeters on natural waters and effluents.* New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, Vol. 37, 485 – 492.
48. Becker, E. W., 1983. *Limitations of heavy metal removal from waste water by means of algae.* Water Research, 17, 459–466.
49. Behrens, Paul W., 2005. *Photobioreactors and Fermentors: The Light And Dark Sides Of Growing Algae.* Algal Culturing Techniques, CH13. Academic Press.
50. Borowitzka, Michael A., 2005. *Culturing Microalgae In Outdoor Ponds ,* Algal Culturing Techniques, CH14, Academic Press.

51. Chilton II, Earl W., 1991. *System for Maintaining Sediment Suspensions during Larval Fish Studies*. The Progressive Fish-Culturist, 28-33.
52. Christensen, V.G., Rasmussen, P.P. and Ziegler, A.C., 2000. *Real-Time Water-Quality Monitoring and Regression Analysis to Estimate Nutrient and Bacteria Concentrations in Kansas Streams*. USGS Water-Resources Investigations Report, 00-4126, 36 °
53. D & A Instrument Co., 2005. Effects of Dirty Windows. (<http://www.d-a-instruments.com/fouling.html>) °
54. D & A Instrument Co., 2006. *OBS3+ Specification*.
55. Fogg, G.E., 1975. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology* 2nd edition. The University of Wisconsin Press.
56. Gordon, H.R., Smith, R.C., and Zaneveld, J.R.V., 1980. *Introduction to ocean optics*. SPIE Ocean Optics, VI(208), 14-55.
57. Green, J.C. and Pienaar, R.N., 1977. *The taxonomy of the order Isochrysidales (Prymnesiophyceae) with special reference to the genera Isochrysis Parke, Dictateria Parke and Imantonia Reynolds*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 57, 7-17.
58. Greenwood B., Osborne P., Bowen A. J., Hazen D.G. and Hay A. E., 1990. *C-Coast: the Canadian coastal sediment transport programme*, *Proceedings of the Canadian Coastal Conference*. Kingston, 319-336.
59. Guillard, Robert R.L., Sieracki, Michael S., 2005. *Counting Cells in Cultures With The Light Microscope*. Algal Culturing Techniques, CH16, Academic Press.
60. Hach Co., 2003. *Hach News and Notes*. Vol. 4(1).
61. Hach Co., 2007. *1720E Low Range Turbidimeter*. Instruction Manual Ed7.

62. Hach Co., 2008. *Model 2100N Laboratory Turbidimeter*. Instruction Manual Edit 4.
63. Hach Co., 2009. *ACCU4 OPERATING MANUAL*. Rev. 4-901, 19.
64. Helm, M.M. and Laing, I., 1987. *Preliminary observations on the nutrient value of "Tahiti isochrysis" to bivalve larvae*. *Aquaculture* 62, 281-288.
65. Hill, A.M., Feinberg, D.A., 1984. *Fuel products from Microalage*, Report No. SETI/TP-21-2348. National Renewable Energy Laboratory, Golden. CO.
66. Hofmann, A., and Dominik, J., 1995. *Turbidity and mass concentration of suspended matter in lake water: A comparison of two calibration methods*. *Aquatic Sciences*, Volume 57(1), 54-69.
67. ISO, 1990. ISO 7027 *Water quality - Determination of turbidity*.
68. Krause, G. and Ohm, K., 1984. *A method to measure suspended load transports in estuaries*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 19, 611-618.
69. Lehman, Peggy, Poulton, Nicole, Mueller-Solger, Anke, 2006. *Using FlowCAM Technology To Measure High Frequency Spatial And Temporal Variation In Phytoplankton And Zooplankton Species Composition And Develop State-Of-The-Art Plankton Monitoring Programs*. Submitted to Science Program 2006.
70. Lyon, Howard W., and Woo, Ching S., 1980. *Accelerated Uptake Response Of The Green Alga, Chlorella Vulgaris, To High Levels Of Phosphorus In Mississippi River Water*. *The Science of the Total Environment* Vol. 14, 279-285.

71. Marie, D., Simon, N., Vaultot, D., 2005.
Phytoplankton Cell Counting By Flow Cytometry.
Algal Culturing Techniques, CH17. Academic Press.
72. National Semiconductor, 1999. *ADC0804/8-Bit μ P Compatible A/D Converters.* Product Data Sheet.
73. Pfeiffer, Timothy J., Rusch, Kelly A., 2000. *An integrated system for microalgal and nursery seed clam culture.* Aquacultural Engineering , (24), 15 – 31.
74. Phatarpekar, P. V., Sreepada, R. A., Pednekar, C., and Achuthankutty, C. T., 2000. *A comparative study on growth performance and biochemical composition of mixed culture of Isochrysis galbana and Chaetoceros calcitrans with monocultures.* Aquaculture, 181, 141–155.
75. Sobolev, D., Moore, K., and Morris, A. L., 2009.
Nutrients and Light Limitation of Phytoplankton Biomass in a Turbid Southeastern Reservoir: Implications for Water Quality. SOUTHEASTERN NATURALIST, 8(2), 255–266.
76. Stevenson, J. Court, 1988. *Comparative ecology of submersed grass beds in freshwater, estuarine, and marine environments.*
American Society of Limnology and Oceanography, vol. 33, 867–893.
77. Su, H. M., Su, M. S., and Liao, I. C., 1997. *Preliminary results of providing various combinations of live foods to grouper (Epinephelus coioides) larvae.* Hydrobiology, 358, 301–304.
78. Sutherland, T. F., Lane, P. M., Amos, C. L., and Downing, J., 2000.
The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. Marine Geology, Vol. 162, 587–597.
79. Trask, B. J., van den Engh, G. J., Elgershuizen, J. H. B. W., 1982.

- Analysis of phytoplankton by flow cytometry.* Cytometry(4):258 - 264.
80. USEPA, 1978. METHOD #: 180.1.
 81. Uytendaal, A., 2003. *Water quality in Lakes Sorell and Crescent: Underlying processes and management options.* Inland Fisheries Service, Hobart.
 82. Wedgewood, 2004. *Model OUS41 Turbidity-SS Sensor.*
 83. Zerull, R. H., and Weiss, K., 1974. *Scattering properties of irregular dielectric and absorbing particles.* In *Atmospheric Aerosols: Their Optical Properties and Effects.* Optical Society of America. NASA. Washington DC.
 84. Zhu, C. J., and Lee, Y. K., 1997. *Determination of biomass dry weight of marine microalgae.* Journal of Applied Phycology, Vol. 9, 189 - 194.



附錄一 市售濁度計之檢驗規範與 USGS 核定濁度單位一覽表

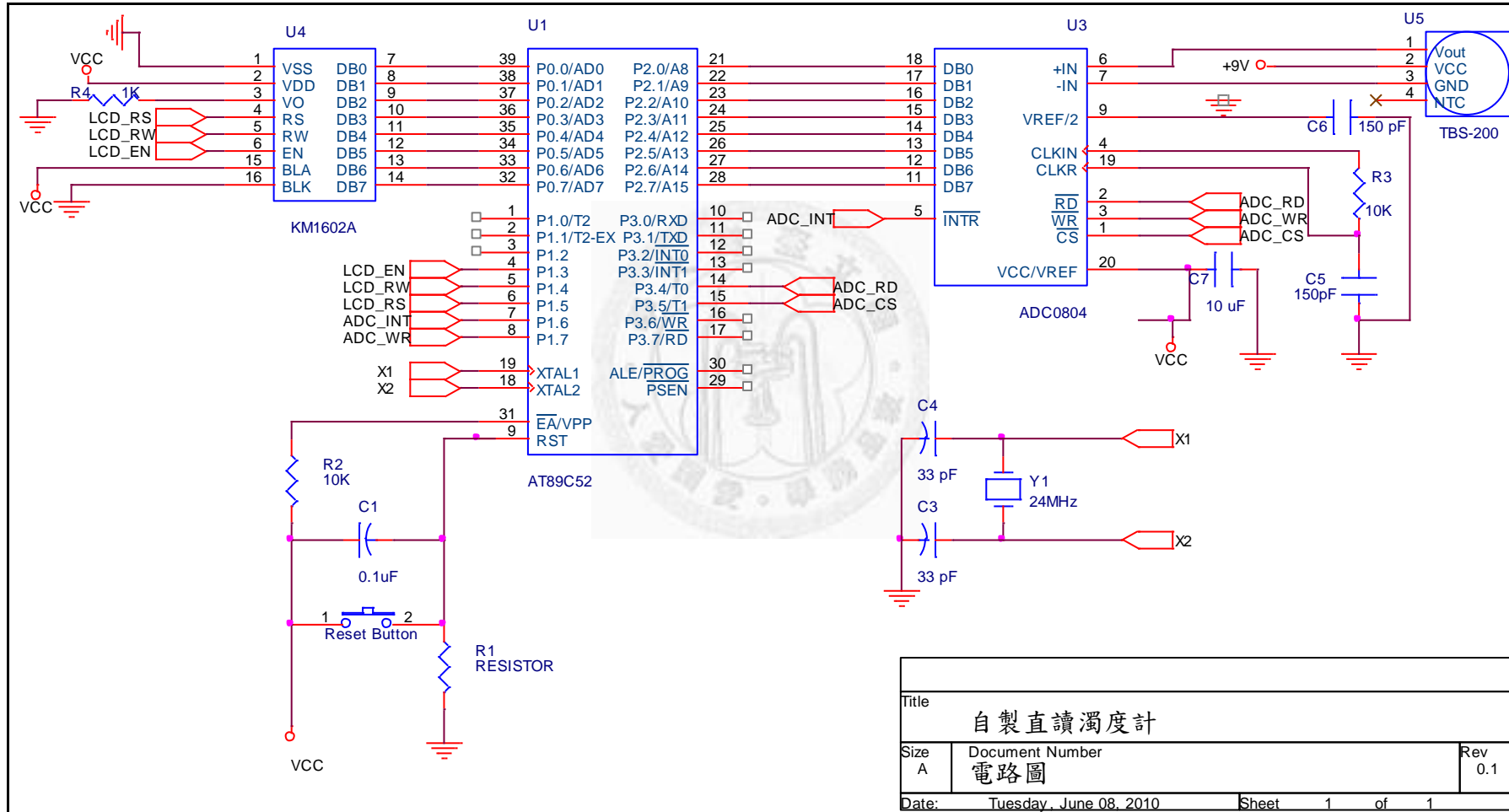
廠牌	型號	標準方法	濁度單位	類型
HACH	model 2100 AN (比值模式、 背向散射模式、 衰減光模式)	USEPA 180.1	NTU	I
		USEPA 180.1	NTRU	
		N/A	BU	
		N/A	AU	
	model 2100 N	USEPA 180.1	NTU	I
		USEPA 180.1	NTRU	
	model 2100 AN IS (比值模式、 背向散射模式)	ISO 7027	FNU	I
		ISO 7027	FNRU	
		N/A	FBU	
	model 2100 N IS	ISO 7027	FNU	I
	model 2100 P	USEPA 180.1	NTU	PI
	model 1720 C	USEPA 180.1	NTU	P
	model 1720 D	USEPA 180.1	NTU	P
	model 1720 D/L	ISO 7027	FNU	PI
	model 1720 E	USEPA 180.1	NTU	P
model FT 660	Hach 10133	NTU	P	
model SS6	N/A	NTU	P	
model Optiquant	ISO 7027	FNU	N	
model Pocket Turbidimeter	ISO 7027	FNU	PI	
HF Scientific	Model Micro100	USEPA 180.1	NTU	N
	Model Micro200	USEPA 180.1	NTU	P
	Model DRT-15CE	USEPA 180.1	NTU	PI
	Model Micro 1000 (光源選擇、 比值模式、 背向散射模式、 衰減光模式)	USEPA 180.1	NTU	I
		USEPA 180.1	NTRU	
		N/A	BU	
		N/A	AU	
		ISO 7027	FNU	
		ISO 7027	FNRU	
N/A		FBU		
N/A	FAU			
Model Micro TPI	ISO 7027	FNU	PI	
ICM	Model 11150	USEPA 180.1	NTU	I
	Model 11152	USEPA 180.1	NTU	PI
LaMotte	Model 2008	USEPA 180.1	NTU	I
	Model 2020	USEPA 180.1	NTRU	I
Orbeco-Hellige	Model 965-10A	USEPA 180.1	NTU	N
	Model 965-IR	ISO 7027	FNU	I
	Model 966-01	USEPA 180.1	NTU	PI
D-A Instruments	Model OBS-3	N/A	FBU	S
	Model OBS-3A	N/A	FBU	S

附錄一市售濁度計之檢驗規範與 USGS 核定濁度單位一覽表(續)

廠牌	型號	標準方法	濁度單位	類型
WTW Measurement Systems	model 550	USEPA 180.1	NTU	I
	model 555	USEPA 180.1	NTRU	I
	model 350 IR	ISO 7027	FNU	PI
	model 550 IR	ISO 7027	FNU	I
	model 555 IR	ISO 7027	FNRU	I
	model VisoTurb 700IQ	ISO 7027	FNU	S
Turbiquant	model 1000 IR	ISO 7027	FNU	PI
	Model 1500 T	USEPA 180.1	NTU	PI
	model 1500 IR	ISO 7027	FNU	I
	model 3000 IR (比值模式)	ISO 7027 ISO 7027 ISO 7027	FNU FNRU FAU	I
Eureka Environmental	model Trimeter	ISO 7027	FNU	D
Greenspan	model TS 100	ISO 7027	FNU	S
	model TS 300	ISO 7027	FNU	S
	model TS 1200	ISO 7027	FNU	S
Forest Technology Systems	Model DTS-12	ISO 7027	FNU	S
Hydrolab	model Datasonde 4	ISO 7027	FNU	D
	model Datasonde 4a	GLI M2	FNMU	S
	model Quanta 4-beam	GLI M2	FNMU	S
In-Situ	model MP TROLL	ISO 7027	FNU	S
McVan	Analite NEP 160-1	N/A	FBU	D
	Analite NEP 160-3	ISO 7027	FNU	D
	Analite NEP 180	N/A	FBU	S
	Analite NEP 185	N/A	FBU	S
	Analite NEP 195	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 390	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 391	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 395	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 396	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 495	ISO 7027	FNU	S
	Analite NEP 9000	ISO 7027	FNU	S/P
	Analite NEP 9500	ISO 7027	FNU	S/P
YSI Environmental	model 6026	ISO 7027	FNU	S
	model 6026-4000	ISO 7027	FNU	S
	model 6136	ISO 7027	FNU	S
GLI	Sensor 95 T	GLI M2	FNMU	I
	Sensor Accu4	GLI M2	FNMU	P

註：類型—儀器(I)、可攜式儀器(PI)、感測器(S)、直讀(D)、工業製程用(P)

附錄二 自製濁度計電路圖



附錄三 自製濁度計微控制器程式

說明：

1. 本程式使用 Keil C51 編譯器，MCU 採用 AT89S52
2. ADC、LCM 型號與連接方式，請參閱附錄二

```
/*
*****
;* 標題: Turbidimeter      *
;* 檔案: Turbidimeter.c   *
;* 日期: 2010-05-04       *
;* 作者: 吳尚容           *
;* Email: r97622033@ntu.edu.tw *
;* 本程式需使用 Keil C51 編譯 *
*****
*/

#include <REG52.H>
#include <intrins.h>
#include <string.h>
#include <stdio.h>

#define uchar unsigned char
#define uint unsigned int
#define DATA_COLLECT 10 //取 n 筆資料平均數

sbit INTR=0x96; //P1_6 = 0x96;
sbit AD_WR = 0x97; //P1_7 = 0x97;
sbit CS = 0xb5; //P3_5 = 0xB5;
sbit AD_RD = 0xb4; //P3_4 = 0xB4;

sbit LCD_RS = P1^5; //P1.5
sbit LCD_RW = P1^4; //P1.4
sbit LCD_EN = P1^3; //P1.3

uchar iIndex = 0;
float fVoltage = 0; //電壓值
uint iTurbidity = 0; //濁度值
```

```

float  fTemp[10];
uchar  pszNum[16];    //顯示資料暫存 16 chars
/*****/
/*延時副程式
/*傳入 ms 可延遲 n 個 ms
/*****/
void delay(int ms)
{
    int i;
    while(ms--)
    {
        for(i = 0; i < 250; i++)
        {
            _nop_();
            _nop_();
            _nop_();
            _nop_();
        }
    }
}

/*****/
/*檢查 LCD 忙狀態
/*lcd_busy 為 1 時，忙，等待。lcd_busy 為 0 時，關，可寫指令與資料。
/*****/

bit lcd_busy()
{
    bit result;
    LCD_RS = 0;
    LCD_RW = 1;
    LCD_EN = 1;
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    result = (bit)(P0&0x80);
    LCD_EN = 0;
}

```




```

    return result;
}

/*****/
/*寫指令資料到 LCD
/*RS=L，RW=L，EN=H，P0.0-P0.7=指令碼?
/*****/

```

```

void lcd_wcmd(uchar cmd)

```

```

{
    while(lcd_busy());
    LCD_RS = 0;
    LCD_RW = 0;
    LCD_EN = 0;
    _nop_();
    _nop_();
    P0 = cmd;
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    LCD_EN = 1;
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    _nop_();
    LCD_EN = 0;
}

```



```

/*****/
/*寫顯示資料到 LCD
/*RS=H，RW=L，E=H，P0.0-P0.7=資料
/*****/

```

```

void lcd_wdat(uchar dat)

```

```

{
    while(lcd_busy());
    LCD_RS = 1;

```

```

LCD_RW = 0;
LCD_EN = 0;
P0 = dat;
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
LCD_EN = 1;
_nop_();
_nop_();
_nop_();
_nop_();
LCD_EN = 0;
}

/*****
/* 設定顯示位置
*****/

void lcd_pos(uchar pos)
{
    lcd_wcmd(pos|0x80); //資料指針=80+位置
}

/*****
/* LCD 初始化設定
*****/

void lcd_init()
{
    delay(15); //等待 LCD 電源穩定
    lcd_wcmd(0x38); //16*2 顯示，5*7 點陣，8 位資料
    delay(5);
    lcd_wcmd(0x38);
    delay(5);
    lcd_wcmd(0x38);
    delay(5);
}

```

```

    lcd_wcmd(0x0c); //顯示開，關游標
    delay(5);
    lcd_wcmd(0x06); //移動游標
    delay(5);
    lcd_wcmd(0x01); //清除 LCD 的顯示內容
    delay(5);
}

/*****
/* 清除 LCD 副程式
*****/

void lcd_clr()
{
    lcd_wcmd(0x01); //清除 LCD 的顯示內容
    delay(5);
}

/*****
/* 主程式
*****/
main()
{
    uchar nCount = 0;

    lcd_init();
    memset(pszNum, '\0', 16);

    lcd_clr();
    lcd_pos(0x0);
    sprintf(pszNum, "START");
    for(iIndex = 0; iIndex < 5; iIndex++)
    {
        lcd_wdat(pszNum[iIndex]);
    }
    lcd_wcmd(0x0c);
    delay(100);
}

```

```

while(1)    //重覆執行
{
    INTR=1; CS=1; AD_RD=1; AD_WR =1; //ADC 停止讀取及停止工作
    CS=0;           //ADC 工作
    AD_WR=0; AD_WR=1; //ADC 開始轉換
    while(INTR);    //等待轉換完畢
    AD_RD=0;

    fTemp[nCount] = P2 * 0.0196;

    if(nCount >= DATA_COLLECT)
    {
        for(iIndex = 0 ; iIndex < DATA_COLLECT ; iIndex++)
        {
            fVoltage += fTemp[iIndex];
        }
        fVoltage = fVoltage / DATA_COLLECT; //取平均值後轉電壓值

        //電壓值轉換成文字字串
        sprintf(pszNum, "VOLTAGE: %4.2fV", fVoltage);

        //顯示
        lcd_pos(0x0);
        for(iIndex = 0; iIndex < 14; iIndex++)
        {
            lcd_wdat(pszNum[iIndex]);
        }

        //顯示濁度值
        //濁度-電壓回歸方程式  $y = 198x^2 - 2273.x + 6084$ 

        if(fVoltage >= 4.23)
            iTurbidity = 0;
        else
            iTurbidity = 6084 - (2273 * fVoltage) + (fVoltage *
fVoltage * 198);
    }
}

```

```

sprintf(pszNum, "%05d NTU", iTurbidity);
lcd_pos(0x40);
for(iIndex = 0; iIndex < 9; iIndex++)
{
    lcd_wdat(pszNum[iIndex]);
}
lcd_wcmd(0x0c);          //顯示
delay(10);

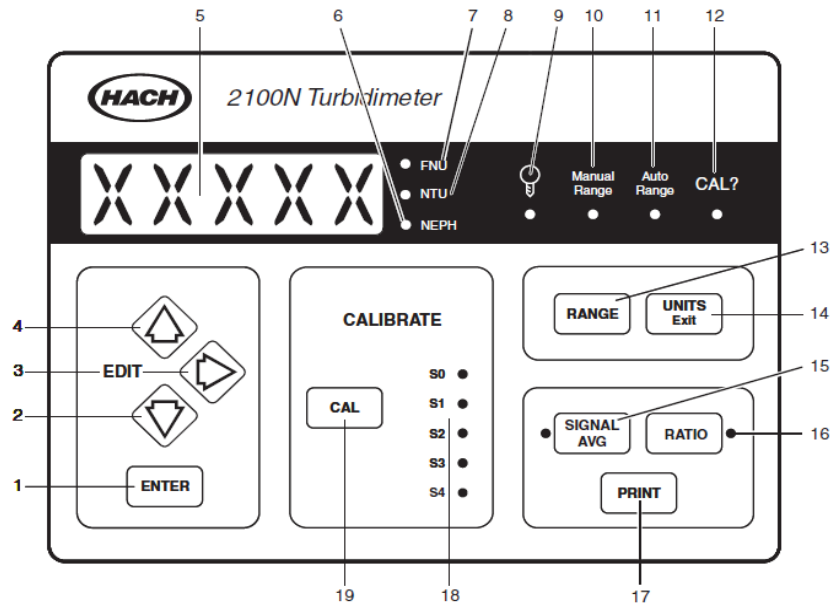
fVoltage = 0;
iTurbidity = 0;
nCount = 0;
}
else
{
    delay(50);
    nCount++;
}
}
}

```



附錄四 市售 HACH 2100N 濁度儀介紹與計測操作流程

1 操作面板介紹



編號	名稱	說明
1	ENTER鍵	校正模式下可選擇幾個校正點；開始校正程序；訊號平均模式下可以清除暫存區之資料
2	DOWN ARROW鍵	校正模式可調整計測結果；校正程序進行中可選擇或跳過某些校正點
3	RIGHT ARROW鍵	校正模式下可開始進入修改模式；移動光標到特定的位數；強制讓某個樣本數據歸零
4	UP ARROW鍵	校正模式可調整計測結果；校正程序進行中可選擇或跳過某些校正點(動作順序與DOWN鍵相反)
5	顯示螢幕	5位數LED顯示器
6	NEPH指示燈	亮起時表示以Nephelos濁度單位顯示
7	NTU指示燈	亮起時表示以NTU濁度單位顯示
8	EBC指示燈	亮起時表示以EBC濁度單位顯示
9	Lamp指示燈	亮起時表示濁度儀的燈光正常運作，閃爍表示光源強度異常
10	Manual Range指示燈	亮起時表示以手動選擇濁度計測範圍
11	Auto Range指示燈	亮起時表示自動選擇濁度計測範圍
12	CAL?指示燈	亮起時表示校正程序的結果錯誤或儀器故障(無法校正)；閃爍時表示儀器必需進行校正才可以使用
13	RANGE	自動或手動選擇濁度計測範圍
14	UNITS Exit鍵	選擇計測的濁度單位；離開校正模式並且忽略已完成的校正點
15	RATIO鍵與指示燈	開啟比值模式；指示燈亮起時表示比值模式
16	PRINT鍵	量測模式下測量結果傳輸到電腦或印表機；校正模式下將校正結果傳到電腦或印表機；電源開啟時同時按下列印鍵可將目前儲存的設定傳送到電腦或印表機
17	SIGNAL AVG鍵與指示燈	開啟訊號平均功能；指示燈亮起時表示訊號平均功能開啟
18	S0 - S4指示燈	燈號亮起表示目前正在進行該點校正
19	CAL鍵	啟動NTU濁度單位的校正模式；接受新的校正結果；NTU校正完成後自動校正EBC與Nephelos濁度單位

2 校正

- 2.1 將儀器放置於一平坦桌面，開啟電源等待開機程序完成。
- 2.2 確認 NTU 指示燈亮起
- 2.3 將第一個標準液(0.1NTU)放入樣品槽中，依標示位置調整對準儀器上標示。
- 2.4 將瓶子下壓直到完全嵌入儀器中，並蓋上光源罩。
- 2.5 按下校正鍵(CAL)，S0 指示燈亮起，進入第一個校正點。
- 2.6 按下 ENTER 鍵，等待顯示幕 60 到 0 倒數完畢。
- 2.7 S1 指示燈亮起，進行第二個校正點(20 NTU)，重複 2.3-2.6 步驟。
- 2.8 重複程序以完成 S2(200 NTU)、S3(1000 NTU)、S4(4000 NTU)校正。
- 2.9 當完成第 5 點(4000 NTU)校正後，按下 CAL 鍵將校正結果儲存。
- 2.10 可以進行測量工作。

3 準備樣本瓶

- 3.1 樣本瓶必須保持清潔與乾燥。
- 3.2 拿取時小心的由樣本瓶的蓋子拿取
- 3.3 取大約 30ml 待測水樣置入樣本瓶內，水樣需至瓶身標示的線上，蓋上瓶蓋。
- 3.4 用無痕紙擦拭樣本瓶，務必確定瓶身乾燥、乾淨且無附著任何污點。
- 3.5 在樣本瓶上塗上一層薄薄的矽油(silicon oil)。
- 3.6 用無痕紙輕輕的擦拭整個樣本瓶的表面。
- 3.7 樣本瓶準備完成。

4 量測

- 4.1 將儀器放置於一平坦桌面。
- 4.2 開啟電源啟動儀器，開機程序完成後儀器會自動進入測量模式。
- 4.3 按下 RANGE 鍵選擇濁度計測範圍或自動偵測。
- 4.4 按下 SIGNAL AVG 鍵選擇訊號平均功能。
- 4.5 按下 RATIO 鍵選擇比值模式(40 NTU 以上建議使用)。
- 4.6 按下 UNITS 鍵選擇 NTU 濁度單位。
- 4.7 將樣本瓶製入樣品槽中，依標示位置調整對準儀器上標示。

- 4.8 將瓶子下壓直到完全嵌入儀器中，蓋上光源罩。
- 4.9 顯示幕上會閃爍幾次”XXXXX“字樣，之後測得數值會顯示於顯示幕上。
- 4.10 記錄結果或按下 PRINT 鍵將計測結果傳至電腦或印表機。
- 4.11 記錄完畢後將樣本瓶取出，重複 4.7-4.10 步驟。

