中華民國第52屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組　物理科

030107

我要長大－綠豆芽承載能力探討

學校名稱：南投縣立宏仁國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳郁涵	鄭君達
國二 蔡雨萱	周憶芸
國二 郭怡君	

關鍵詞：綠豆芽、壓力

摘　　要

設計模擬實驗，找出正式實驗時會遇到的問題與狀況，並加以克服，以減少正式實驗時的問題，進行一系列的探討實驗，從（一、豆子種類）→（二、溫度差異）→（三、有無照光）→（四、有無壓重物）→（五、燒杯及壓板的大小）→（六、空氣流不流通）→（七、豆子品質），探討各種變因對綠豆芽生長的影響，進而找出種植最棒、最好吃綠豆芽的方法。

經由此次的實驗，我們發現要種出最棒、最好吃的綠豆芽，需要一個不照光、黑暗的環境，使用健康的豆子，將豆子事先泡水，讓豆子吸水膨脹，挑出不發芽，不健康的豆子，再將健康的豆子平鋪在容器上，放上隔板，用 8 倍豆子顆數的重量（gw）施壓，並定時、適量澆水，5-6 天後，就可以吃到最好吃的豆芽菜。

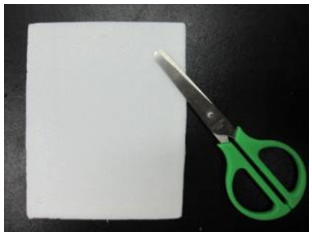
壹、研究動機

跟媽媽來到菜市場買菜，看到菜攤老闆賣的豆芽菜長得白白短短胖胖的，粗細長短也都很一致，和學校營養午餐中的豆芽菜樣子很像，但這些豆芽和我們國小時，自己種的綠豆芽細細長長的，很不一樣，爲甚麼會有這麼大的差異呢？因爲好奇，想知道原因，上網搜尋資料後，發現種豆芽時，都會在豆芽上方壓重物，所以就很納悶綠豆發芽時爲什麼要壓重物？而綠豆芽可以承載多少重量呢？走在人行道上，發現樹木的根將水泥地板抬高，導致地板破裂，讓我們更好奇植物在生長的時候，爲何擁有那麼大的力氣，可以舉起水泥地，這是否與綠豆發芽時能將重物向上頂起的原理相同呢？我們想知道豆子發芽到底可以承載多少重量，以及要怎麼種，豆芽才會長得又白又胖。於是和老師討論設計這個實驗，讓我們可以深入的了解豆芽，發現隱藏在豆芽中的奧秘。

貳、研究目的

一、研究綠豆芽在不同重物下的存活率及生長情況。
二、研究綠豆發芽時所能承載的最大重量及最大承受壓力。
三、討論綠豆發芽時，所產生的向上生長力量有多大。
四、研究如何種出最粗最肥美的綠豆芽。
五、找出如何種出最胖、最棒、最好吃綠豆芽菜的方法。

參、研究器材

（一）綠豆	（二）燒杯	（三）壁報紙、橡皮筋
（四）電子天平、游標尺、直尺	（五）珍珠板、剪刀	（六）培養皿、壓重物(鐵片)
		

肆、實驗流程及步驟

一、實驗流程

探討一、探討不同種類的豆子其發芽能力及生長情況。

操縱變因：豆子種類：綠豆、紅豆、黃豆。

圖 1-1

圖 1-2

圖 1-3

（一）市面上有許多種類的豆芽菜，我們爲了研究不同種類豆芽菜之間的差異，所以我們以綠豆、紅豆、黃豆三種常見豆類進行實驗(如圖 1-1~1-3)。

（二）在實驗過程中，紅豆與黃豆發不出芽，所以我們決定以後的實驗以綠豆芽爲主。

探討二、溫度差異及有無照光對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：光線有無及室內外溫度差。

圖 2-1

圖 2-2

圖 2-3

（一）爲了避免豆芽照射到陽光，所以用黑色壁報紙包住豆芽，形成黑暗的環境。

（二）為了研究豆芽在有無光線及不同溫度環境下的生長變化，分別將豆芽種植於室內照光、室內無照光、室外照光、室外無照光四種環境下生長。(如圖 2-1)

（三）豆芽在生長過程中，發現室內與室外環境下生長的豆芽並無太大的差異，推測可能是因為室內、室外的溫度差異不足以影響豆芽的生長。

（四）實驗後，發現照光環境下生長的豆芽顏色較無照光環境下的豆芽綠。(如圖 2-2、2-3)

探討三、綠豆發芽時，上方有無壓重物，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：有無壓重物（用膠帶將鐵片纏繞成圓柱狀，當成重物）

圖 3-1

圖 3-2

圖 3-3

（一）發現在探討二中種植出的豆芽，比一般市面上看到的細(如圖 3-1)，上網查資料後，才了解專業農場在種植豆芽時，為了使豆芽長的粗壯，會在上方壓放重物。

（二）為了研究在豆芽上方有壓重與無壓重的區別，分別將豆子種植在有壓重及無壓重的環境中生長。(如圖 3-2、3-3)

（三）實驗中，發現有時壓重物會傾斜，豆芽生長不平均，有長有短。(如圖 3-2)

（四）實驗完畢後，發現有壓重的豆芽會比無壓重的豆芽粗。

探討四、燒杯及壓板的大小，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：燒杯 100ml、500ml、珍珠板直徑 4.5cm、7.7cm

圖 4-1

圖 4-2

圖 4-3

（一）探討三中，壓重物傾斜，導致生長不平均(如圖 4-1)，推測可能是因為壓板太小所導致。

（二）為了改善壓重物傾斜的現象，我們將燒杯及珍珠板加大。(如圖 4-2)

（三）燒杯及珍珠板加大後，壓重物傾斜的現象獲得改善。(如圖 4-3)

探討五、壓重物的不同重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：壓重物的重量（壓重物的重量 g：豆子顆數＝1~10：1）

圖 5-1

圖 5-2

圖 5-3

在探討四的實驗後，發現還可再增加壓重物的重量。

（一）爲了研究單顆豆芽最大可以支撐的重量（壓重物的重量/豆子顆數），將變因設爲壓重物的重量。

（二）其比例計算爲：壓重物的重量：豆子顆數 ＝ 1~10（g）：1（顆）

例如：變因 1：種植 30 顆綠豆，壓重 30g，即壓重物重量：豆子顆數＝30：30＝1：1

變因 2：種植 30 顆綠豆，壓重 210g，即壓重物重量：豆子顆數＝210：30＝7：1

（三）實驗中，發現許多綠豆芽莖的部位變黑。(如圖 5-2)

（四）實驗後，發現壓重 7、8 倍的豆芽出水、爛掉(如圖 5-3)，9 倍以上的豆芽全數死掉。

探討六、燒杯及壓板的大小，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：1000ml 燒杯、培養皿直徑 9.4cm

圖 6-1

圖 6-2

圖 6-3

（一）在探討五的實驗中，發現許多豆芽莖的部位變黑，我們猜測是生長空間太小所導致。

（二）爲了增加生長空間，將燒杯改爲 1000ml 燒杯(如圖 6-1)，將壓板改爲培養皿。(如圖 6-2)

（三）實驗後，發現豆芽莖的部位黑掉(如圖 6-3)，排除是生長空間太小所導致。

探討七、空氣流不流通，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

操縱變因：戳洞的珍珠板（空洞可以使空氣流通）

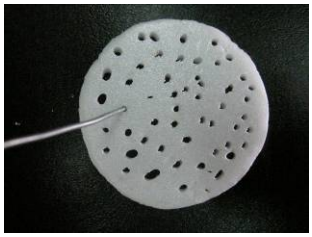


圖 7-1

圖 7-2

圖 7-3

（一）排除是生長空間太小導致豆芽莖的部位變黑後，我們猜測是因爲空氣不流通所導致。

（二）爲了證實空氣不流通的猜測，在珍珠板上戳洞，以利空氣流通。(如圖 7-1)

（三）實驗後，豆芽莖的部位還是黑掉，再排除是因爲缺乏空氣流通所致。(如圖 7-3)

探討八、豆子品質，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

變因：綠豆品質

圖 8-1

圖 8-2

圖 8-3

（一）再度排除是因爲缺乏空氣流通，導致豆芽莖的部位變黑後，我們猜測是因爲綠豆品質不良所導致(如圖 8-1)。

（二）爲了改善綠豆不良問題，我們購買品質較優良的綠豆種植。(如圖 8-2)

（三）實驗後，豆芽莖的部位並無黑掉，因此證實是因爲綠豆品種不良所致。(如圖 8-3)

（四）逐一克服栽培綠豆芽可能會出現的問題後，就開啓我們栽培又白又胖豆芽的實驗旅程。

二、實驗步驟

一、於燒杯內鋪上一層衛生紙

二、測量燒杯＋衛生紙＋珍珠板重量

三、浸泡豆子

四、挑選健康的豆子

五、平鋪豆子於衛生紙上

六、測量燒杯＋衛生紙＋壓板＋豆子的總重量

七、畫線標示生長高度

八、豆子澆水

九、於珍珠板/培養皿上壓重物

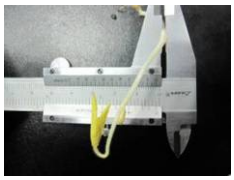
十、於燒杯外包上一層黑紙

十一、每天觀察畫線標示生長高度

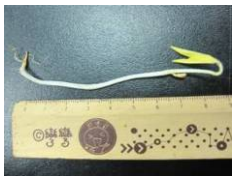
十二、每天觀察澆水

十三、生長完畢

十四、挑選生長較具代表性的豆芽



十五、測量豆芽徑寬



十六、測量豆芽長度

十七、將豆芽陰乾

十八、測量陰乾後燒杯＋衛生紙＋豆芽重量

伍、實驗結果

實驗一之一、不同室內外溫度及光線有無的環境、不同豆子數量及不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：cm^2、壓力：gw/cm^2、質量：g、長度：cm）

變因/編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
場地	室內															
光線	亮								暗							
豆子顆數	35	35	35	35	70	70	70	70	35	35	35	35	70	70	70	70
壓重物的重量	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	37.6	43.8	41.5	36.4	35.3	25.8	35.9	28.3	29.7	38.3	36.1	34.8	31.6	34.6	36.6	42.7
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	42.7	48.8	46.9	41.6	45.1	35.8	47.7	38.4	35.3	43.6	41.6	39.9	42.2	45.0	46.7	52.6
豆子總重	5.17	4.99	5.38	5.13	9.81	9.99	11.8	10.1	5.65	5.3	5.46	5.12	10.6	10.3	10.0	9.91
平均豆重	0.15	0.14	0.15	0.15	0.14	0.14	0.17	0.14	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	44.48	50.62	49.24	44.25	48.18	39.67	51.88	43.58	38.02	45.77	43.57	42.54	44.44	48.16	49.92	56.07
生長完畢豆子總重	6.92	6.84	7.71	7.83	12.8	13.9	16.0	15.2	8.34	7.49	7.47	7.72	12.8	13.5	13.2	13.3
生長完畢豆子平均重	0.21	0.22	0.24	0.22	0.19	0.22	0.24	0.23	0.23	0.23	0.21	0.24	0.20	0.21	0.19	0.21
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77
豆子平均承受重量	0.00	0.67	1.25	1.71	0.00	0.32	0.62	0.91	0.00	0.63	1.14	1.88	0.00	0.32	0.59	0.95
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	40.01	50.48	51.59	45.67	39.06	38.37	41.53	40.22	33.08	41.28	38.47	38.78	35.14	36.86	39.13	44.73
乾豆子重	2.45	6.7	10.0	9.25	3.75	12.6	5.67	11.9	3.4	3	2.37	3.96	3.57	2.25	2.49	2.05
消耗二氧化碳質量	3.59	9.83	14.7	13.5	5.50	18.4	8.32	17.4	4.99	4.40	3.48	5.81	5.24	3.30	3.65	3.01
發芽數	33	30	32	35	65	63	65	66	35	32	35	32	64	63	68	63
發芽率	94.3	85.7	91.4	100	92.9	90.0	92.9	94.3	100	91.4	100	91.4	91.4	90.0	97.1	90.0
豆芽平均徑寬	0.14	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16
豆芽平均長度	8.70	9.80	10.8	11.3	4.60	3.10	4.90	5.30	8.80	7.10	6.70	6.60	4.25	3.60	4.30	3.05

（一）平均豆重＝豆子總重/豆子顆數，生長完畢豆子平均重＝生長完畢豆子總重/發芽數。

（二）珍珠板接觸面積＝珍珠板的半徑^2 × 圓週率＝$2.25^2 \times \pi = 15.9\ cm^2$。

（三）珍珠板承受壓力＝壓重物的重量/珍珠板接觸面積，

豆子平均承受重量＝壓重物的重量/發芽數

（四）消耗二氧化碳質量＝乾豆子重/180 × 6 × 44，發芽率＝發芽數/豆子顆數 × 100%

圖 1-1-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

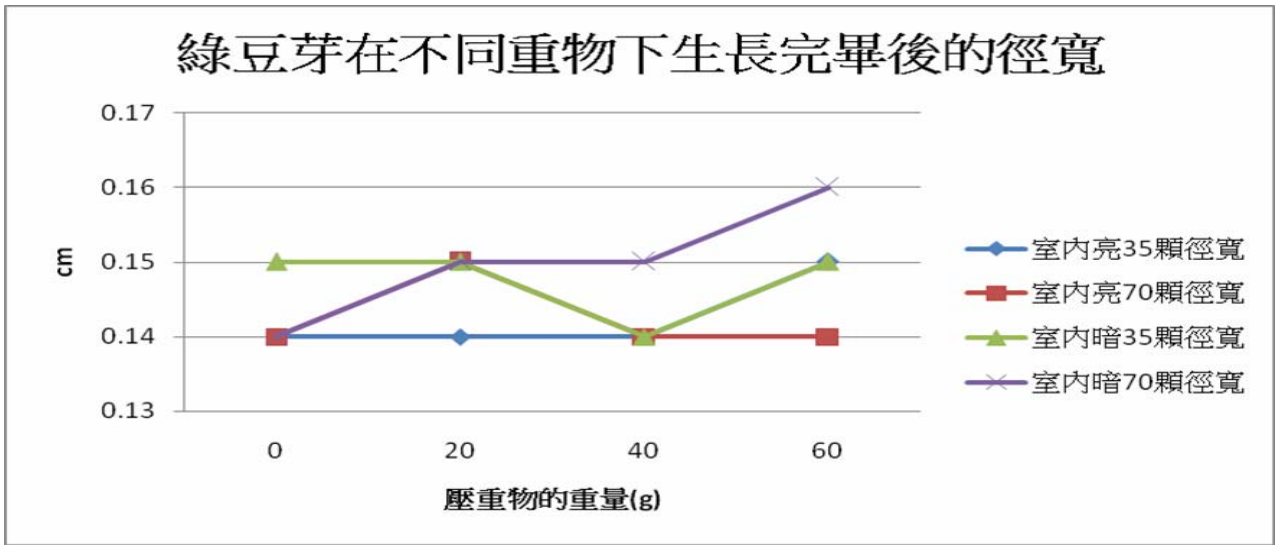


圖 1-1-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

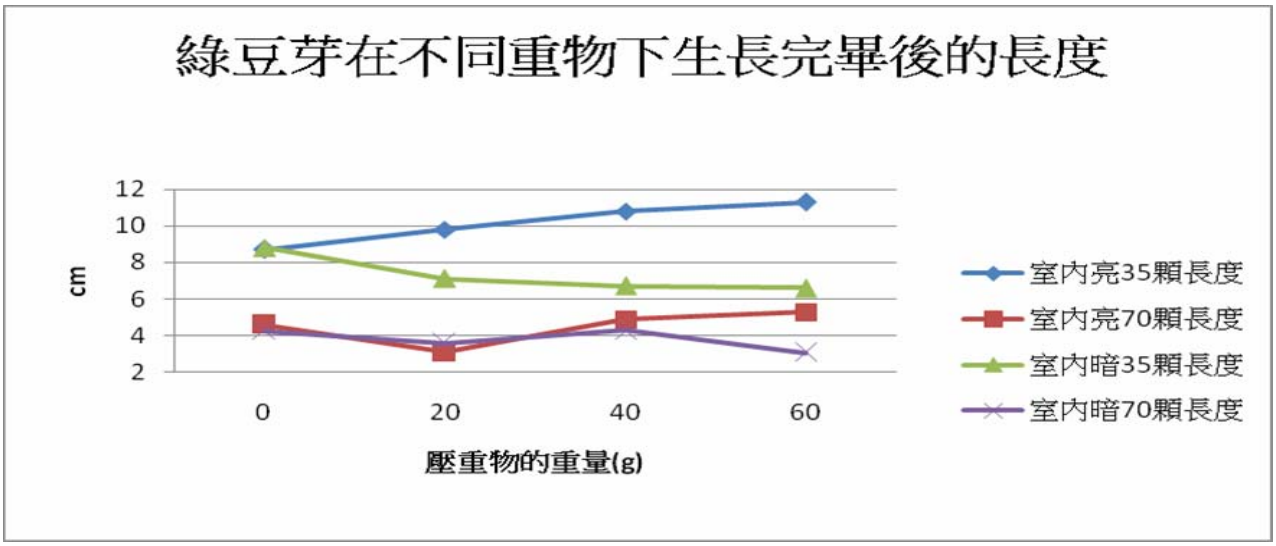
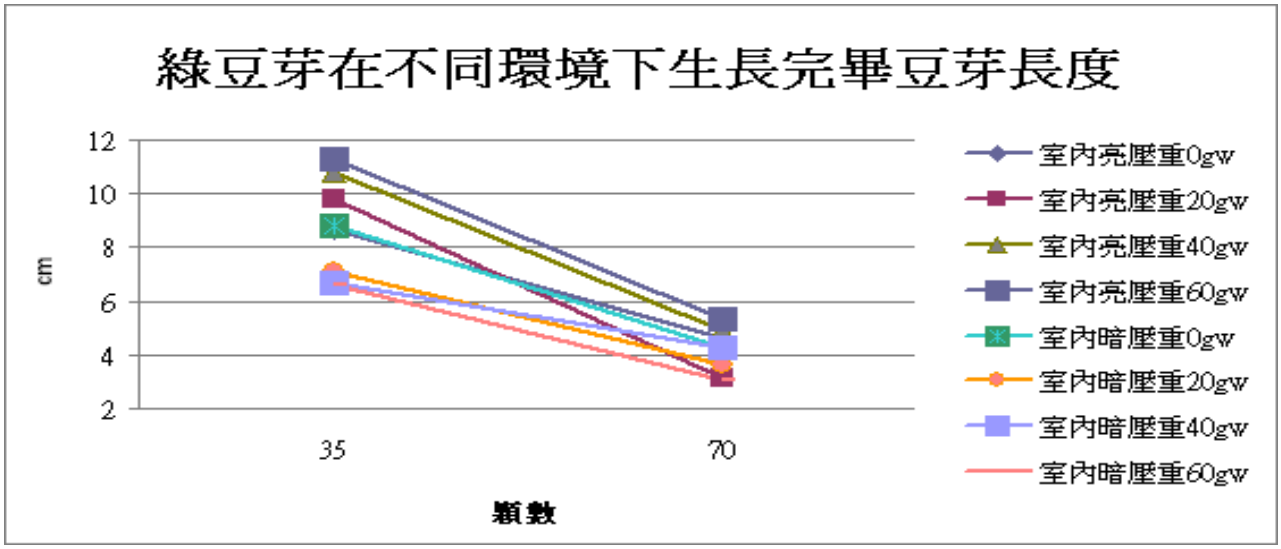


圖 1-1-3：綠豆芽在不同環境下生長完畢豆芽長度



實驗一之二、不同室內外溫度及光線有無的環境、不同豆子數量及不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：㎝^{2}、壓力：gw/㎝^{2}、質量：g、長度：cm）

變因/編號	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
場地	室外															
光線	亮								暗							
豆子顆數	35	35	35	35	70	70	70	70	35	35	35	35	70	70	70	70
壓重物的重量	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	27.2	35.5	35.2	34.2	37.3	32.3	40.0	37.9	29.4	34.5	35.9	35.1	32.0	29.0	39.2	37.3
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	32.4	40.5	40.0	38.7	47.1	42.2	50.3	48.7	43.3	48.1	40.8	39.8	47.6	39.3	48.8	47.1
豆子總重	5.17	5.01	4.84	4.47	9.83	9.94	10.2	10.7	13.8	13.6	4.9	4.71	15.6	10.3	9.59	9.86
平均豆重	0.15	0.14	0.14	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.40	0.39	0.14	0.13	0.22	0.15	0.14	0.14
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	33.57	41.31	41.71	40.88	48.39	44.18	53.37	51.68	45.54	50.15	43.22	42.23	50.76	41.93	51.85	50.77
生長完畢豆子總重	6.36	5.8	6.53	6.66	11.1	11.9	13.4	13.8	16.1	15.6	7.36	7.11	18.8	12.9	12.6	13.5
豆子平均承受重量	0.20	0.18	0.20	0.20	0.17	0.19	0.21	0.20	0.50	0.47	0.23	0.22	0.30	0.19	0.20	0.20
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77
豆子平均承受壓力	0.00	0.63	1.25	1.82	0.00	0.32	0.63	0.87	0.00	0.61	1.25	1.94	0.00	0.29	0.63	0.91
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	28.22	36.6	37.43	36.15	38.67	42.57	52.64	45.93	36.69	42.46	45.48	44.52	40.09	38.2	49.58	48.97
乾豆子重	1.01	1.09	2.25	1.93	1.39	10.3	12.6	8.06	7.26	7.98	9.62	9.4	8.14	9.24	10.3	11.7
消耗二氧化碳質量	1.48	1.60	3.30	2.83	2.04	15.1	18.6	11.8	10.6	11.7	14.1	13.7	11.9	13.5	15.1	17.1
發芽數	31	32	32	33	64	62	63	69	32	33	32	31	62	68	63	66
發芽率	88.6	91.4	91.4	94.3	91.4	88.6	90.0	98.6	91.4	94.3	91.4	88.6	88.6	97.1	90.0	94.3
豆芽平均徑寬	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.16	0.15
豆芽平均長度	6.30	6.10	7.35	9.40	2.90	4.00	6.10	5.35	7.10	8.20	7.25	8.65	6.85	4.95	3.15	4.50

圖 1-2-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

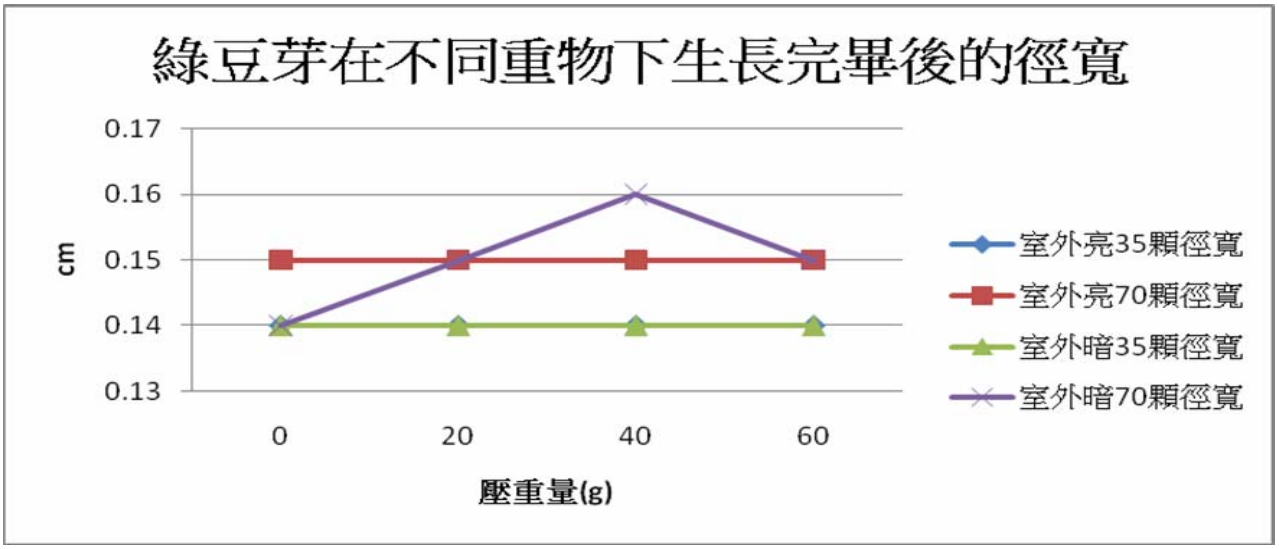


圖 1-2-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

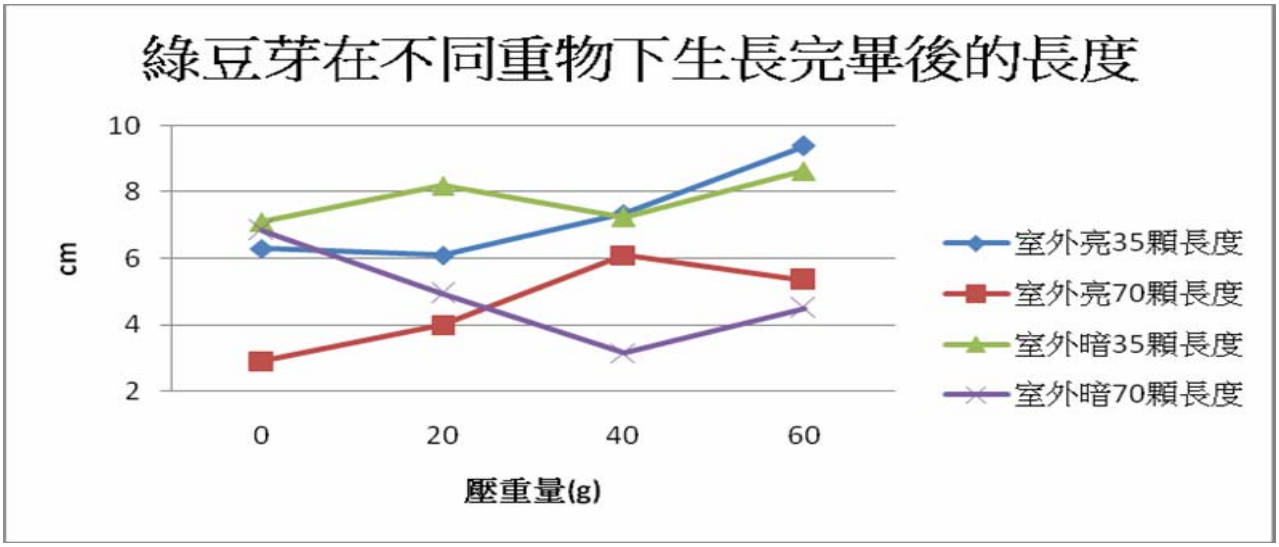
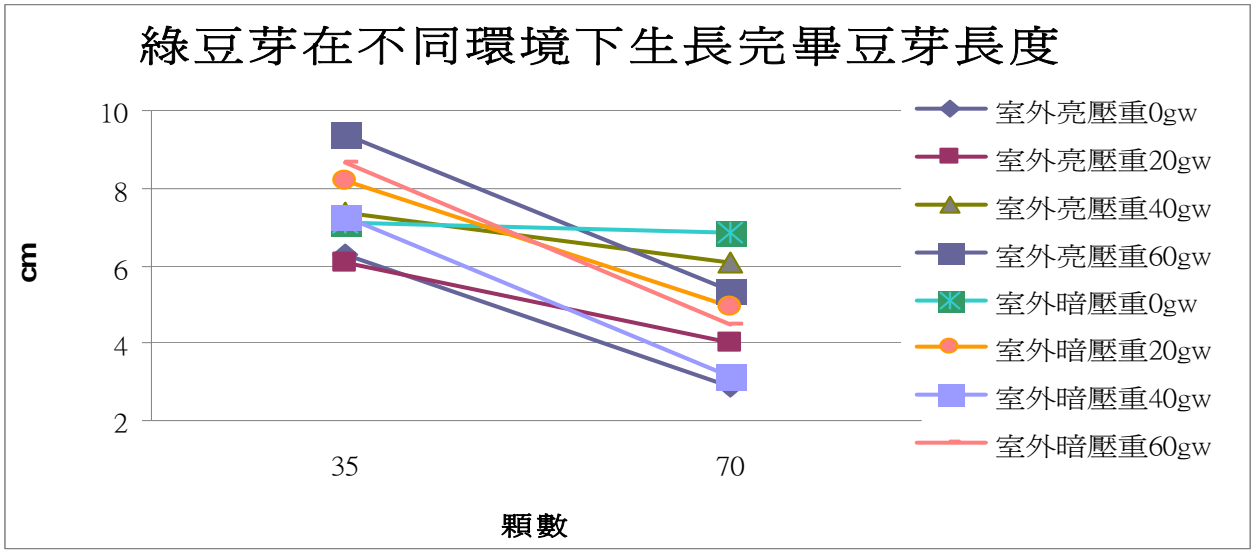


圖 1-2-3：綠豆芽在不同環境下生長完畢豆芽長度



實驗二之一、不同室內外溫度及光線有無的環境、不同豆子數量及不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：㎝^{2}、壓力：gw/㎝^{2}、質量：g、長度：cm）

變因/編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
場地	室內															
光線	亮								暗							
豆子顆數	45	45	45	45	90	90	90	90	45	45	45	45	90	90	90	90
壓重物的重量	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	38.6	37.8	43.7	34.2	36.1	35.4	39.2	37.6	31.6	34.8	37.2	37.3	42.7	36.4	38.3	34.8
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	44.69	44.48	50.34	40.73	48.52	47.53	51.02	49.01	38.15	41.17	54.66	43.54	44.01	44.92	48.54	50.74
豆子總重	6.05	6.59	6.55	6.49	12.4	12.0	11.7	11.3	6.49	6.33	17.4	6.18	1.26	8.5	10.2	15.9
平均豆重	0.13	0.15	0.15	0.14	0.14	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.39	0.14	0.01	0.09	0.11	0.18
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	47.14	46.55	53.95	42.96	51.36	50.95	55	52.67	40.07	43.81	47.53	47.33	47.69	60.12	54.73	52.54
生長完畢豆子總重	8.5	8.66	10.1	8.72	15.2	15.4	15.7	15.0	8.41	8.97	10.2	9.97	4.94	23.7	16.4	17.7
生長完畢豆子平均重	0.20	0.21	0.24	0.20	0.20	0.19	0.20	0.19	0.22	0.24	0.27	0.26	0.07	0.79	0.23	0.22
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77
豆子平均承受重量	0.00	0.48	0.93	1.36	0.00	0.24	0.50	0.75	0.00	0.53	1.05	1.58	0.00	0.67	0.56	0.76
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	40.01	39.45	45.65	35.67	39.06	38.37	41.53	40.22	33.08	36.28	38.47	38.78	50.14	44.86	45.13	40.73
乾豆子重	1.37	1.56	1.86	1.43	2.95	2.88	2.24	2.56	1.42	1.44	1.21	1.42	7.39	8.44	6.82	5.89
消耗二氧化碳質量	2.01	2.29	2.73	2.10	4.33	4.22	3.29	3.75	2.08	2.11	1.77	2.08	10.8	12.3	10.0	8.64
發芽數	43	42	43	44	77	82	80	80	39	38	38	38	68	30	71	79
發芽率	95.5	93.3	95.5	97.7	85.5	91.1	88.8	88.8	86.6	84.4	84.4	84.4	75.5	33.3	78.8	87.7
豆芽平均徑寬	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.17	0.16	0.17
豆芽平均長度	3.70	2.55	2.65	2.25	2.90	3.35	2.80	2.60	2.15	4.60	4.80	4.40	2.90	3.15	2.85	2.50

圖 2-1-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

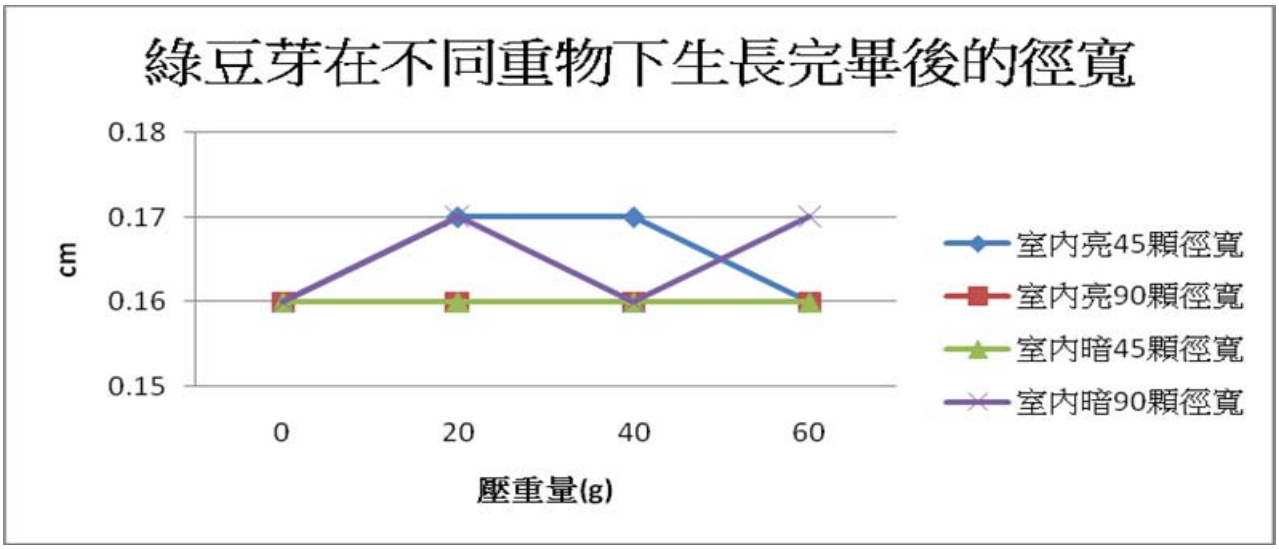


圖 2-1-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

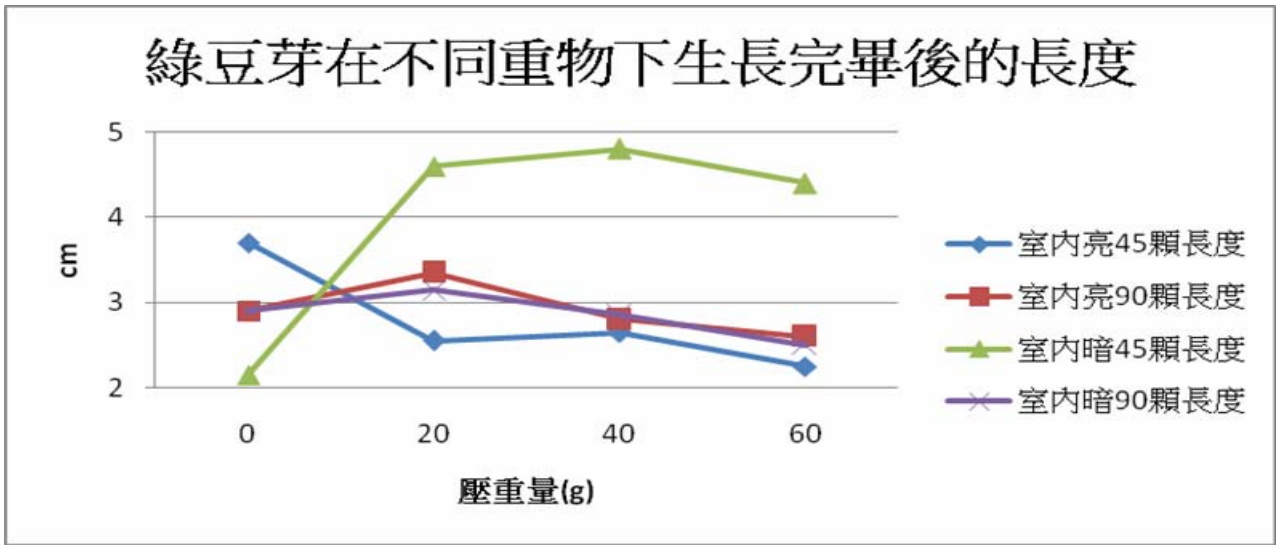
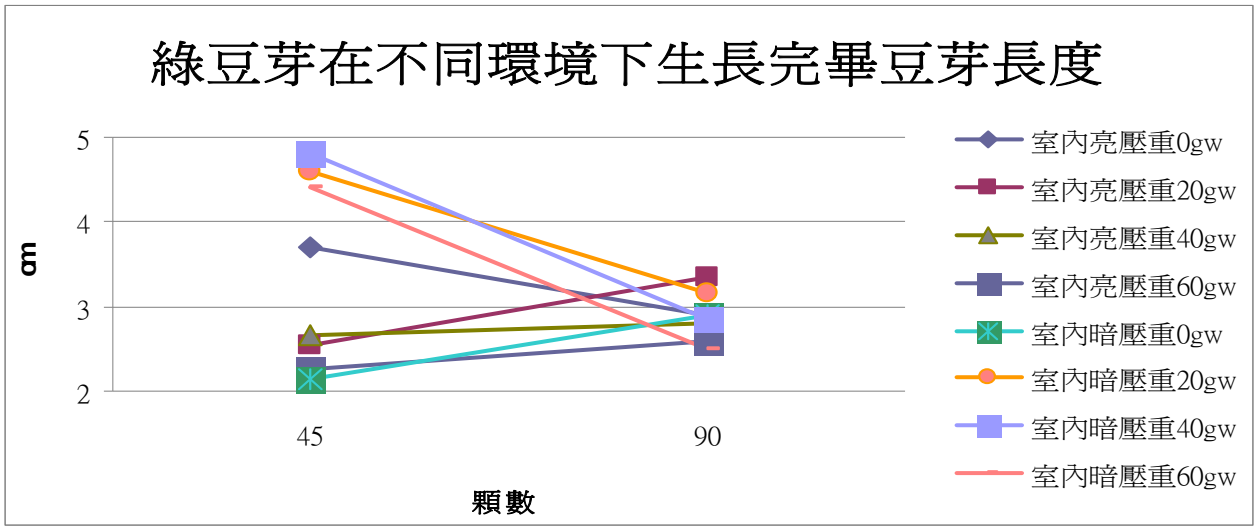


圖 2-1-3：綠豆芽在不同環境下生長完畢豆芽長度



實驗二之二、不同室內外溫度及光線有無的環境、不同豆子數量及不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：㎝^{2}、壓力：gw/㎝^{2}、質量：g、長度：cm）

變因/編號	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
場地	室外															
光線	亮								暗							
豆子顆數	45	45	45	45	90	90	90	90	45	45	45	45	90	90	90	90
壓重物的重量	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60	0	20	40	60
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	35.1	35.9	34.6	35.8	39.8	39.8	29.7	28.3	35.2	25.7	28.9	43.2	37.2	35.1	27.1	36.3
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	48.49	43.17	42.95	41.59	48.59	51.58	41.72	40.11	41.8	32.33	65.28	50.59	44.9	47.6	39.21	48.67
豆子總重	13.3	7.24	8.27	5.76	8.7	11.6	11.9	11.7	6.6	6.54	36.3	7.35	7.64	12.4	12.0	12.3
平均豆重	0.30	0.16	0.18	0.13	0.10	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.81	0.16	0.08	0.14	0.13	0.14
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	49.08	42.74	45.14	42.7	50.93	54.12	43.82	52.27	44.13	33.19	37.74	54.28	51.58	49.76	42.88	52.52
生長完畢豆子總重	13.9	6.81	10.4	6.87	11.0	14.2	14.0	23.9	8.93	7.4	8.77	11.0	14.3	14.6	15.7	16.1
生長完畢豆子平均重	0.39	0.19	0.30	0.17	0.13	0.17	0.18	0.29	0.23	0.19	0.23	0.28	0.18	0.18	0.19	0.19
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77	0.00	1.26	2.52	3.77
豆子平均承受重量	0.00	0.56	1.14	1.50	0.00	0.24	0.50	0.71	0.00	0.53	1.05	1.54	0.00	0.25	0.48	0.71
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	43.22	36.6	37.43	36.15	41.67	42.57	32.64	30.93	36.69	27.46	30.48	44.52	40.09	38.2	29.58	38.97
乾豆子重	8.09	0.67	2.75	0.32	1.78	2.68	2.91	2.6	1.49	1.67	1.51	1.28	2.83	3.08	2.4	2.63
消耗二氧化碳質量	11.8	0.98	4.03	0.47	2.61	3.93	4.27	3.81	2.19	2.45	2.21	1.88	4.15	4.52	3.52	3.86
發芽數	36	36	35	40	82	84	80	84	39	38	38	39	80	81	83	85
發芽率	80.0	80.0	77.7	88.8	91.1	93.3	88.8	93.3	86.6	84.4	84.4	86.6	88.8	90.0	92.2	94.4
豆芽平均徑寬	0.16	0.16	0.14	0.14	0.13	0.15	0.16	0.14	0.14	0.14	0.16	0.17	0.15	0.17	0.14	0.14
豆芽平均長度	1.12	5.50	5.15	4.30	3.95	3.20	2.40	2.85	2.60	2.40	2.40	2.10	2.72	1.85	1.75	1.83

圖 2-2-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

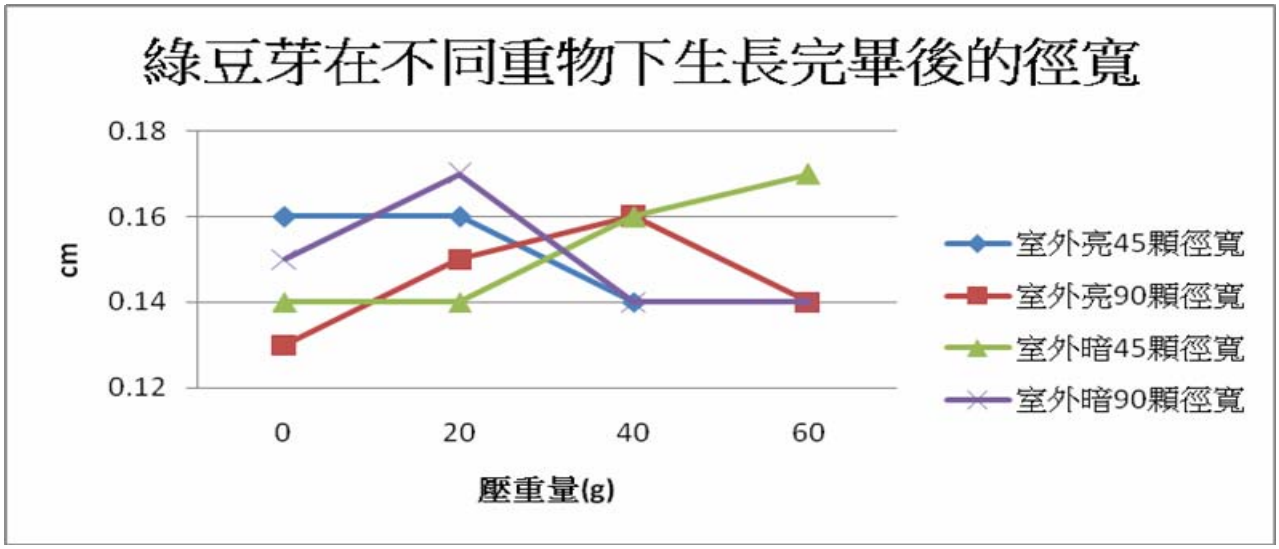


圖 2-2-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

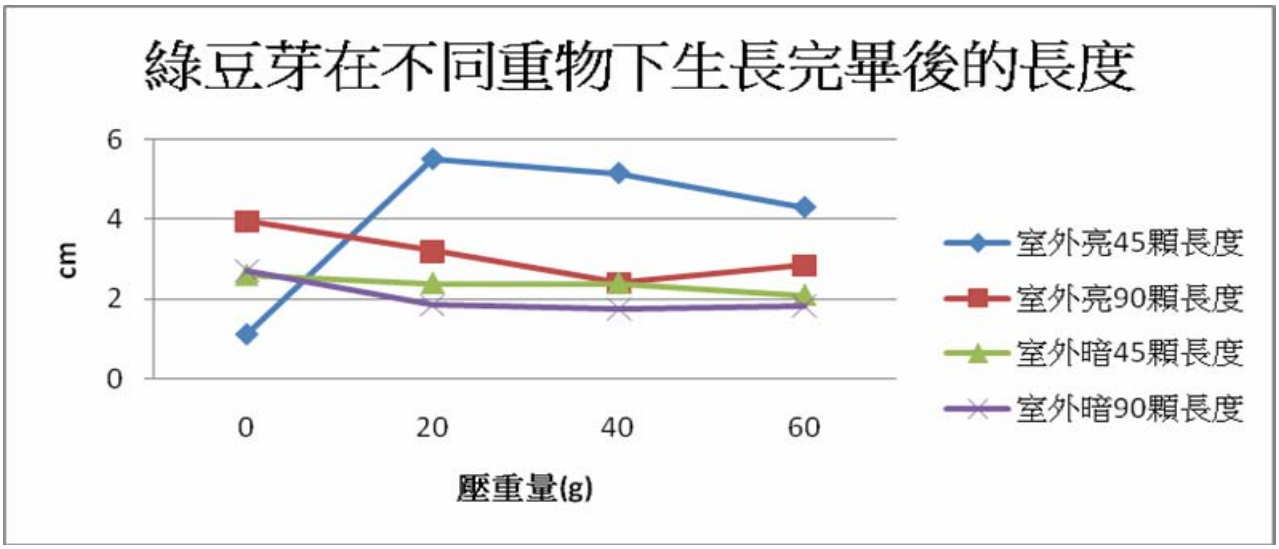
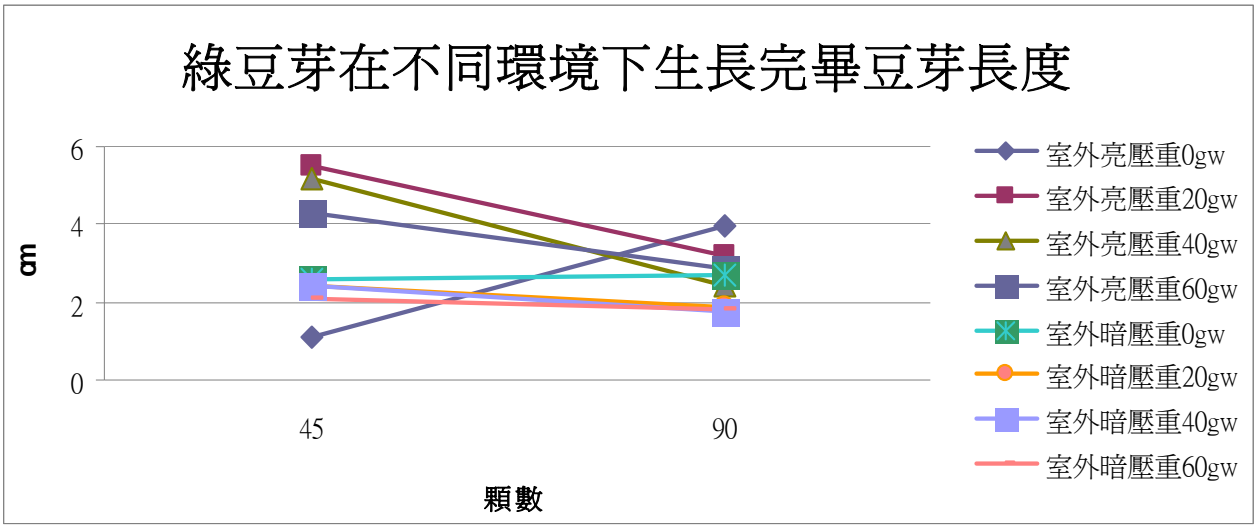


圖 2-2-3：綠豆芽在不同環境下生長完畢豆芽長度



實驗三之一、室內溫度及黑暗的環境、相同豆子數量，但不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：cm^2、壓力：gw/cm^2、質量：g、長度：cm）

變因/編號	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2
場地	室內							
光線	暗							
豆子顆數	30	30	30	30	30	30	30	30
壓重物的重量	0	0	200	200	250	250	300	300
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	41.28	36.87	35.26	30.98	34.92	34.87	37.39	37.51
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	46.42	41.83	40.37	36.22	40	40	43	42.87
豆子總重	5.14	4.96	5.11	5.24	5.08	5.13	5.61	5.36
平均豆重	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.19	0.18
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	52.13	49.72	48.75	44.5	45.42	46.91	43	50.93
生長完畢豆子總重	10.85	12.85	13.49	13.52	10.5	12.04	5.61	13.42
生長完畢豆子平均重	0.374	0.443	0.465	0.451	0.404	0.401	0.187	0.447
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0.00	0.00	12.58	12.58	18.87	18.87	25.16	25.16
豆子平均承受重量	0.00	0.00	6.90	6.67	11.54	10.00	13.33	13.33
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	42.57	38.47	37.11	32.21	36.22	36.07	38.67	38.73
乾豆子重	1.29	1.6	1.85	1.23	1.3	1.2	1.28	1.22
消耗二氧化碳質量	1.89	2.35	2.71	1.80	1.91	1.76	1.88	1.79
發芽數	29	29	29	30	26	30	30	30
發芽率	96.7	96.7	96.7	100.0	86.7	100.0	100.0	100.0
豆芽平均徑寬	0.18	0.18	0.19	0.21	0.17	0.17	0.21	0.20
豆芽平均長度	3.11	4.55	4.80	4.50	4.50	3.55	3.70	4.55

圖 3-1-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

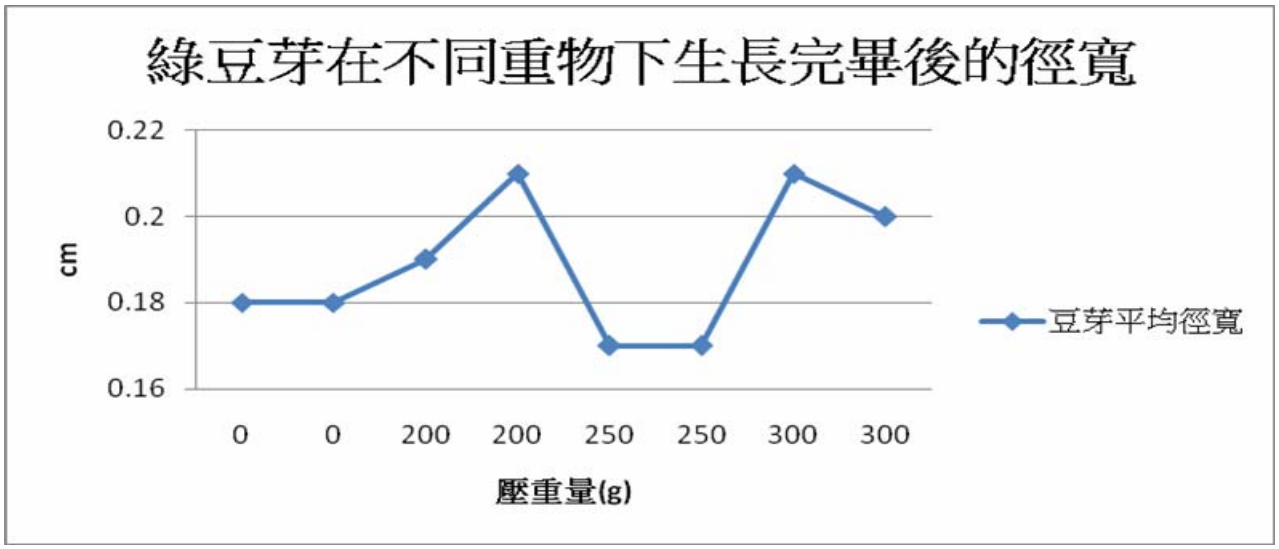


圖 3-1-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

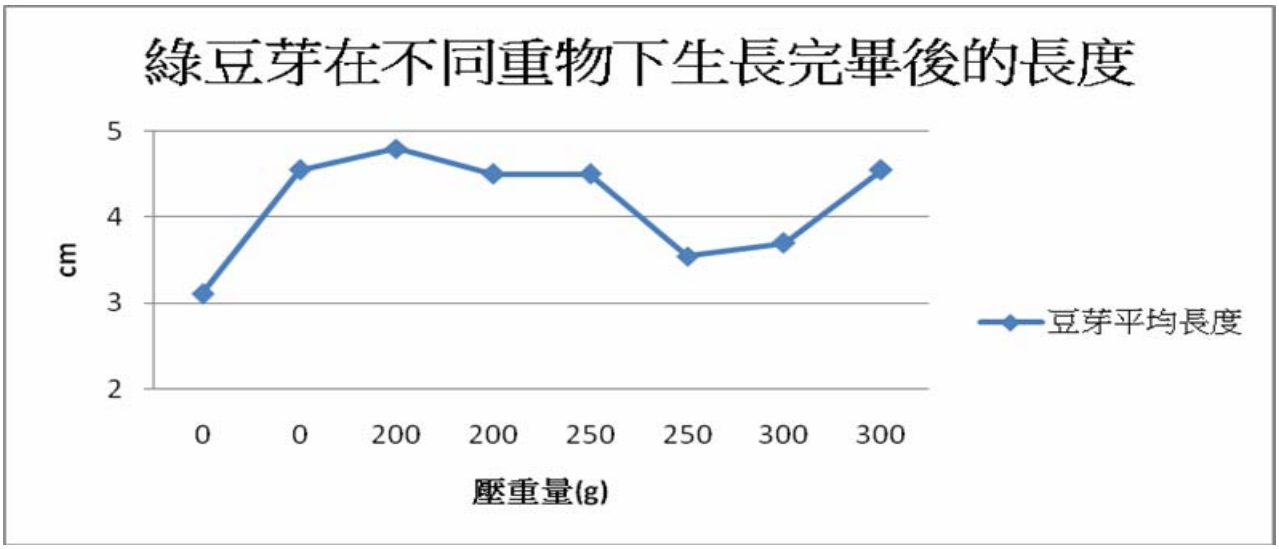
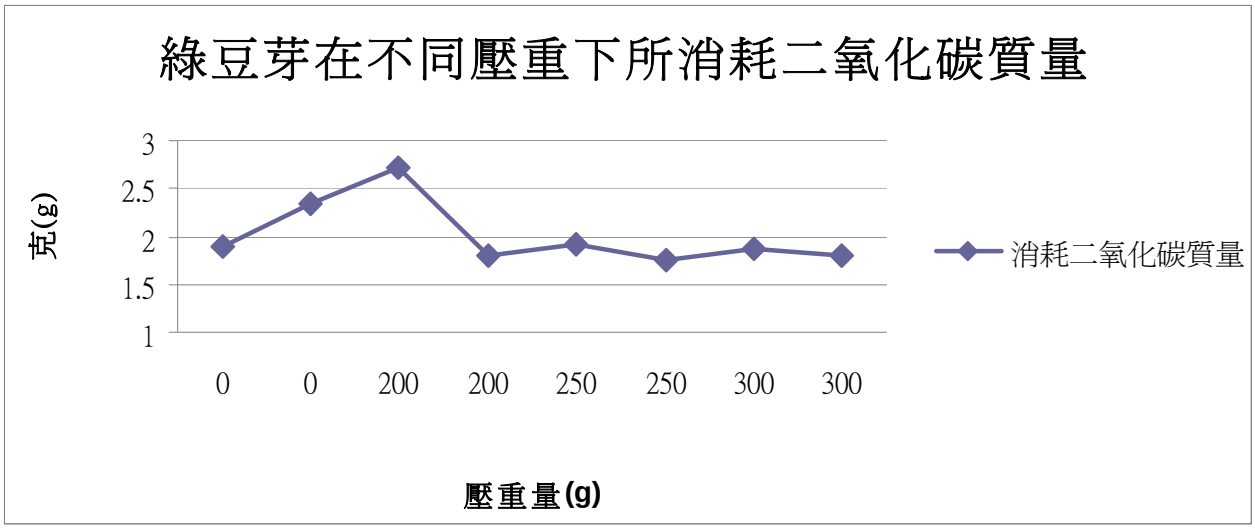


圖 3-1-3：綠豆芽在不同壓重下所消耗的二氧化碳質量



實驗三之二、室內溫度及黑暗的環境、相同豆子數量，但不同壓重物的重量，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：cm^2、壓力：gw/cm^2、質量：g、長度：cm）

變因/編號	1	2	3	4	5	6	7	8
場地	室內							
光線	暗							
豆子顆數	30	30	30	30	30	30	30	30
壓重物的重量	0	0	200	200	240	240	270	270
燒杯＋衛生紙＋珍珠板重	42.47	38.93	36.22	38.38	37	28.66	43.53	31.46
燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	47.99	44.55	41.33	43.43	42.37	33.58	48.58	36.14
豆子總重	5.52	5.62	5.11	5.05	5.37	4.92	5.05	4.68
平均豆重	0.18	0.19	0.17	0.17	0.18	0.16	0.17	0.16
生長完畢燒杯＋衛生紙＋珍珠板＋豆子總重	53.47	50.01	48.56	50.27	49.59	40.81	55.89	43.56
生長完畢豆子總重	11	11.08	12.34	11.89	12.59	12.15	12.36	12.1
生長完畢豆子平均重	0.37	0.37	0.41	0.4	0.42	0.41	0.41	0.4
珍珠板接觸面積	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9
珍珠板承受壓力	0	0	12.58	12.58	15.09	15.09	16.98	16.98
豆子平均承受重量	0	0	6.67	6.67	8	8	9	9
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋珍珠板總重	43.89	40.5	37.07	39.72	38.16	30	44.73	32.71
乾豆子重	1.42	1.57	0.85	1.34	1.16	1.34	1.2	1.25
消耗二氧化碳質量	2.08	2.3	1.25	1.97	1.7	1.97	1.76	1.83
發芽數	30	30	30	30	30	30	30	30
發芽率	100	100	100	100	100	100	100	100
豆芽平均徑寬	0.17	0.17	0.2	0.2	0.19	0.17	0.2	0.21
豆芽平均長度	5.75	6.2	4.05	3.55	4.15	4.25	4.55	4.6

圖 3-2-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

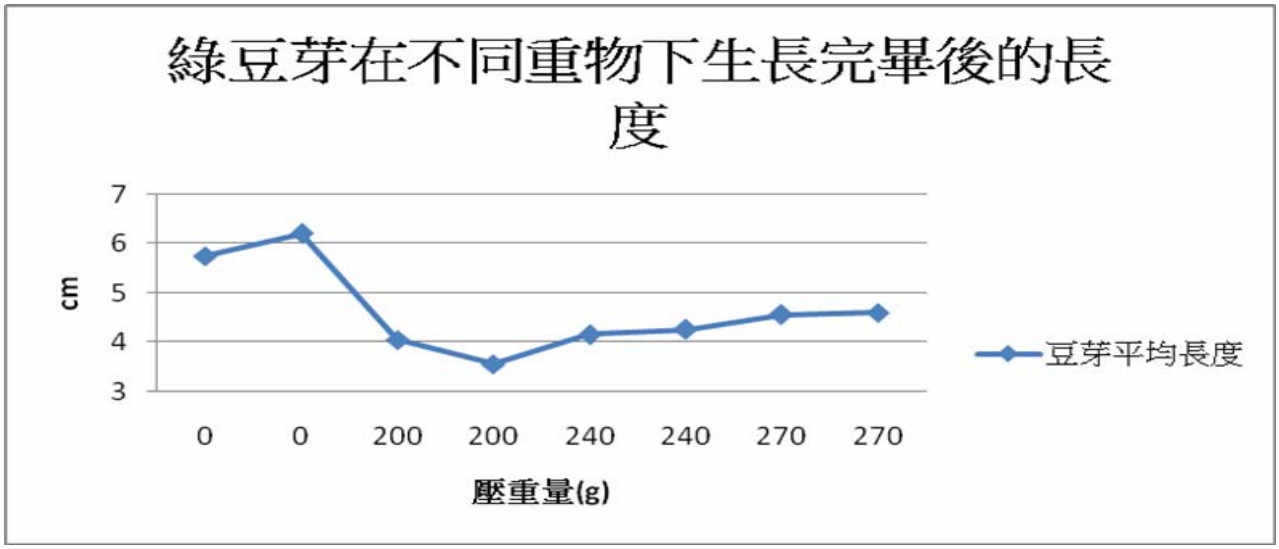


圖 3-2-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

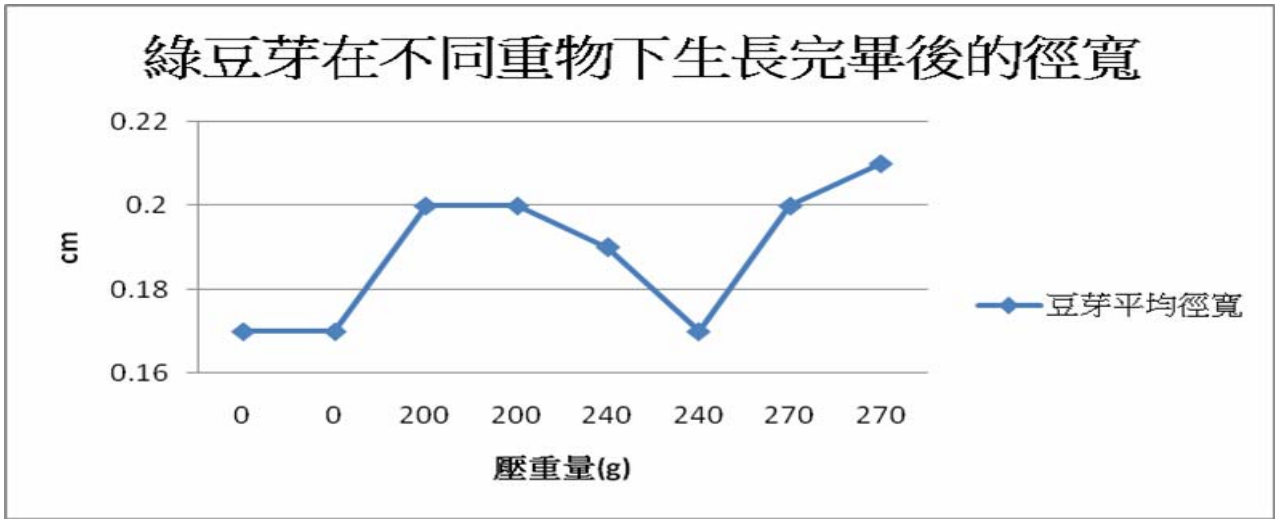
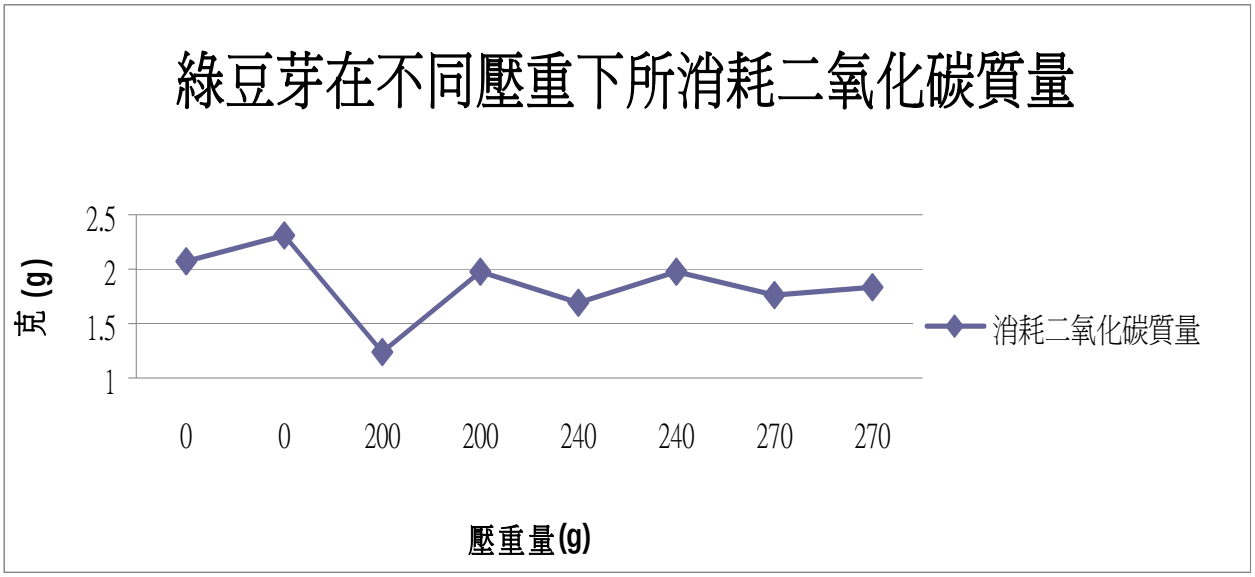


圖 3-2-3：綠豆芽在同壓重下所消耗的二氧化碳質量



實驗四、室外溫度及黑暗的環境、相同豆子數量，但不同壓重物的重量及不同豆子排列方式，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗。

（重量單位：gw、面積：cm^2、壓力：gw/cm^2、質量：g、長度：cm）

變因/編號	A1	A2	B1	B2	C1	C2
場地	室外					
光線	暗					
豆子顆數	70	70	70	70	70	70
重量	0	0	500	500	550	550
燒杯＋衛生紙＋培養皿重	295.17	299.17	299.25	283.85	297.04	290.67
燒杯＋衛生紙＋培養皿＋豆子總重	313	318	316	299	313	307
豆子總重	17.83	18.83	16.75	15.15	15.96	16.33
平均豆重	0.25	0.27	0.24	0.22	0.23	0.23
生長完畢燒杯＋衛生紙＋培養皿＋豆子總重	328	336	389	391	395	391
生長完畢豆子總重	32.83	36.83	89.75	107.15	97.96	100.33
生長完畢豆子平均重	0.48	0.53	1.28	1.53	1.40	1.43
培養皿接觸面積	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4	69.4
培養皿承受壓力	0.00	0.00	7.20	7.20	7.93	7.93
豆子平均承受重量	0.00	0.00	7.14	7.14	7.86	7.86
豆子乾枯＋燒杯＋衛生紙＋培養皿總重	298	302	302	287	300	294
乾豆子重	2.83	2.83	2.75	3.15	2.96	3.33
消耗二氧化碳質量	4.15	4.15	4.03	4.62	4.34	4.88
發芽數	69	70	70	70	70	70
發芽率	98.6	100	100	100	100	100
豆芽平均徑寬	0.16	0.15	0.19	0.18	0.20	0.19
豆芽平均長度	11.70	12.00	7.85	6.90	7.15	7.16

圖 4-1：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的徑寬

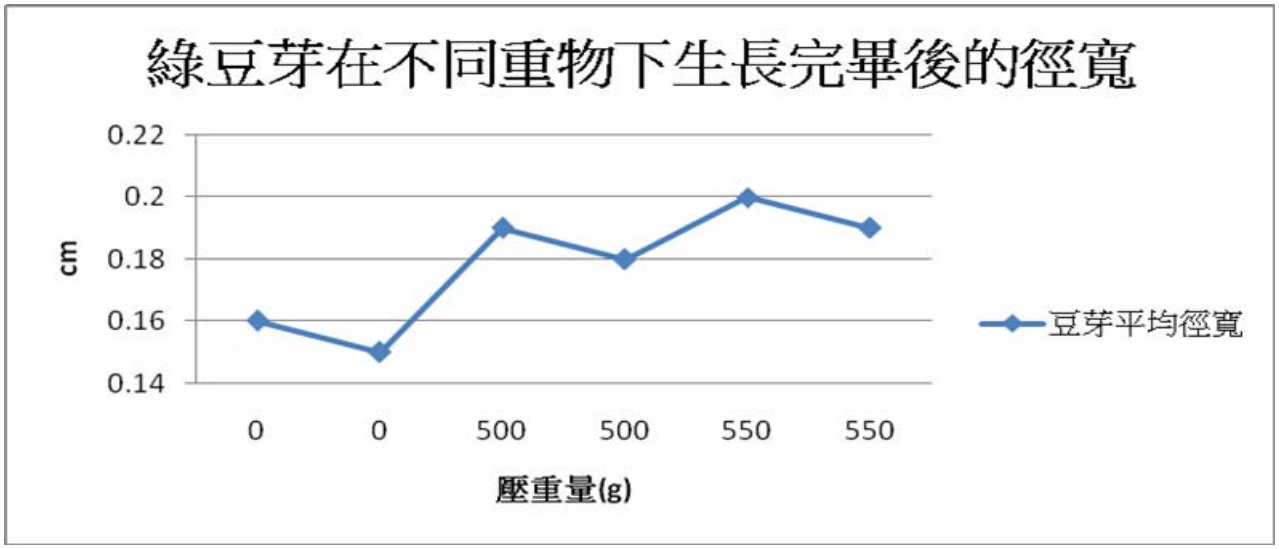


圖 4-2：綠豆芽在不同重物下生長完畢後的長度

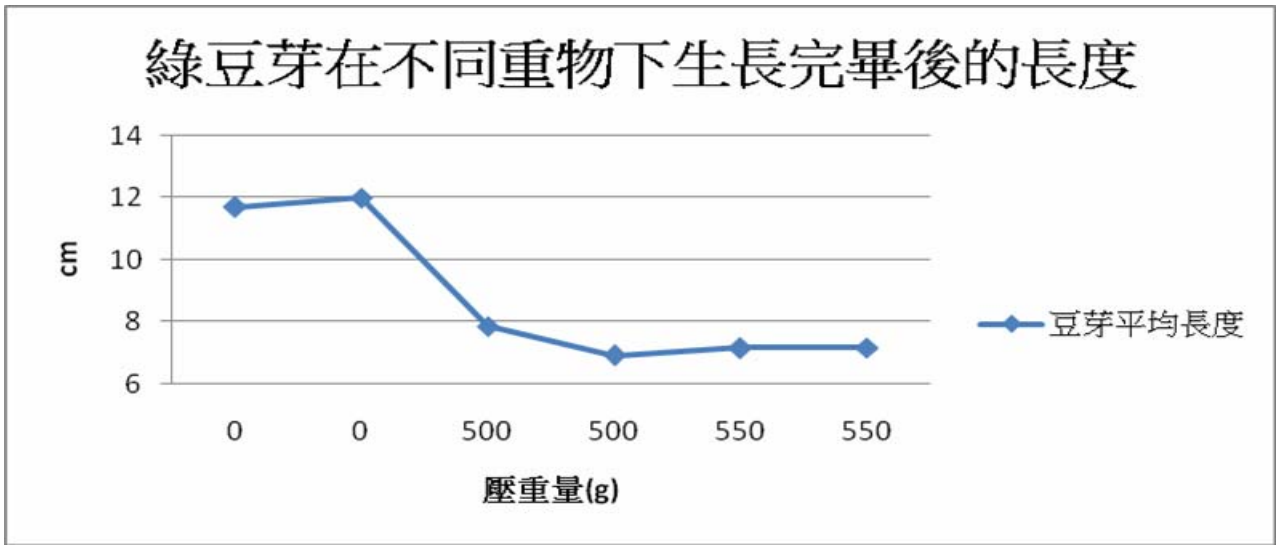
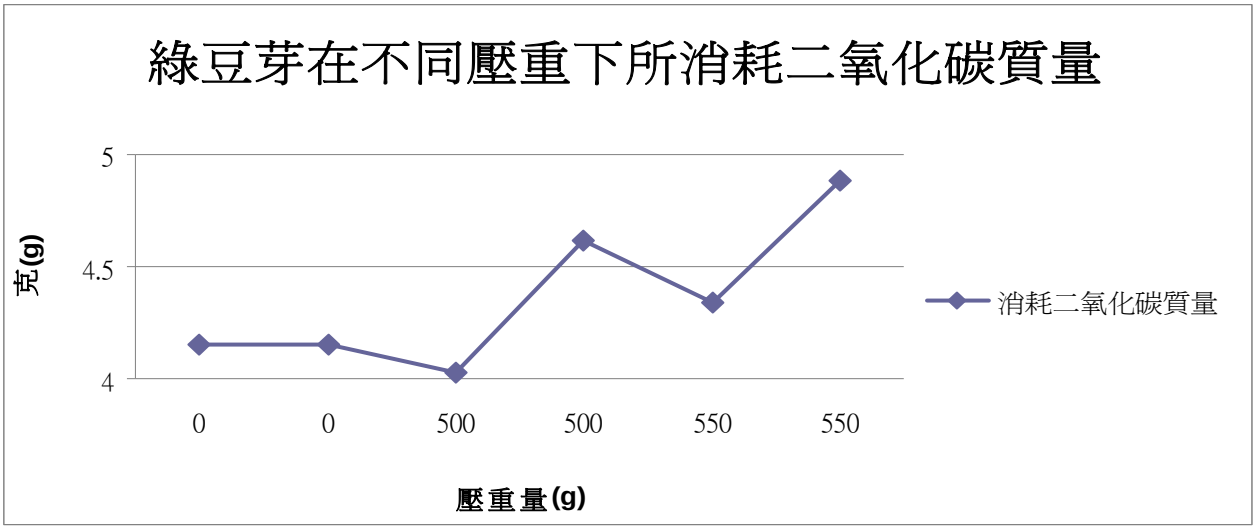


圖 4-3：綠豆芽在同壓重下所消耗的二氧化碳質量



陸、討論

一、在正式實驗之前，先進行模擬實驗，猜想可能會遇到的問題與狀況，並設法加以解決，雖然會增加實驗的時間，但卻可以累積經驗，尤其是對於不熟悉的實驗狀況，非常有幫助。所以我們在暑假時，就先進行模擬實驗，逐步的測試各種變因與條件，並克服實驗中出現的問題與狀況，讓我們正式實驗時，能夠正確且順利的進行，並知道要如何安排變因的次序及實驗的流程。而此次實驗的變因順序是：（一、豆子種類）→（二、溫度差異）→（三、有無照光）→（四、有無壓重物）→（五、燒杯及壓板的大小）→（六、空氣流不流通）→（七、豆子品質）

二、在探討不同種類的豆子其發芽能力及生長情況。發現紅豆、黃豆泡水時，會吸水膨脹，但不發芽，而綠豆泡水一天後，就會發芽，而且只使用一種豆子，雖然數據資料不是很豐富，但卻可以得到單純的資訊，容易觀察比較出不同條件下實驗結果的差異。所以就決定使用綠豆作爲正式實驗階段的材料。

三、在實驗中，發現澆水太多，導致豆子腐爛產生臭味。所以我們要視衛生紙的溼度，來調整澆水量，因爲加水太多會導致豆芽爛掉，而水加的太少會使豆芽吸不到水分而乾掉枯萎。而鋪衛生紙的原因是，衛生紙可以吸收水分，讓燒杯底部保持濕潤有水的狀態，也不會使豆芽持續浸泡在水中，導致豆芽爛掉。

四、在溫度差異及有無照光對綠豆發芽能力及生長情況之實驗中，因爲要比較有無照光，所以我們用黑色壁報紙將燒杯包住，製作出不透光黑暗的環境，並利用室內外溫度的差異，來進行室內照光、室內無照光、室外照光、室外無照光在四種環境下生長的豆芽菜。

五、在有無壓重物，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗中，我們使用鐵片當作壓重的物體，這是因爲鐵片是一片片的，可以組合出實驗所需的重量，只要用膠帶捆緊，就是良好的可調重量的壓重物。至於爲甚麼要用珍珠板和培養皿來當壓重物和豆子之間的壓板呢？這是因爲鐵片的截面積有限，無法壓迫到全部的綠豆，所以需要截面積較大的物品當中介，將壓重物的重量傳遞給壓板，再壓迫全部的綠豆，這樣得到的實驗結果會比較一致。

六、有無壓重物的實驗中，我們發現種植在 100ml 燒杯內的豆芽，珍珠板會和壓重物一起傾斜，致使壓重力由壓板中心轉移至壓板邊緣，導致壓板兩側壓重力不同，而使豆芽生長不一致。所以我們將燒杯由 100ml 改爲 500ml，並將珍珠板加大且將壓重物黏放於中心位置，避免傾斜現象發生，當我們將燒杯及珍珠板加大後，果然壓重物傾斜的現象立刻獲得改善。

七、有無壓重物的實驗中，我們發現發芽超過一個星期的豆芽菜，會開始枯萎、死亡，推測可能是因爲發芽的綠豆，在消耗使用完儲存在子葉中的養分後，卻仍然被黑色壁報紙包住，陽光無法照射到豆芽，致使豆芽無法行光合作用，製造補充養分，豆芽因而缺乏養分而死亡，所以接下來的實驗，我們均在一星期內完成，避免豆芽缺乏養分的情況出現。

八、在綠豆芽的實驗中，斷斷續續出現綠豆芽莖的部位出現變黑、枯萎、壞死的現象，我們剛開始時，不知道其原因，只能一個一個原因慢慢排除，首先我們以爲是燒杯洗不乾淨，結果使用非常乾淨的燒杯，還是仍然會有豆芽變黑、枯萎、壞死的現象，接下來分別增加豆芽生長的空間及在珍珠板上戳洞，以利空氣流通，但還是無法徹底改善豆芽變黑、枯萎、壞死的現象，最後我們想到，在進行豆芽實驗之前，會先泡水讓綠豆稍微發芽，但總有部分豆子不會或較慢發芽，如果在將綠豆芽放入燒杯的步驟中，對綠豆芽進行挑

選工作，選擇發芽的比較漂亮，且種皮顏色較健康的亮綠色豆芽進行實驗，不知道是否可以改善豆芽變黑、枯萎、壞死的現象？果然辛苦挑選豆子是有回報的，經過挑選過的豆子，在實驗中，真的甚少出現變黑、枯萎、壞死的現象！

九、我們想到豆子發芽時，從一顆小豆子，長成肥肥胖胖的豆芽，在這其中，豆芽行光合作用，可以吸收多少二氧化碳呢？我們去請教老師，可不可以計算綠豆芽成長時，吸收多少二氧化碳？老師給我們一個反應方程式，但有兩個條件需要假設成立：（一）雖然不照光，但還是有進行微弱光合作用。（二）將豆芽陰乾後，剩下的質量，全部爲醣類纖維素的質量。雖然這兩個假設很難成立，但我們還是興致勃勃的計算豆芽成長時，可以吸收多少二氧化碳？根據老師的方程式：$6\,CO_2 + 6H_2O + 6O_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$，假設豆芽陰乾後，剩下 X 克，則豆芽成長時，所吸收的二氧化碳質量爲：$X/180 \times 6 \times 44$ 克，約是乾燥豆芽重量的 1.4 倍。

十、在相同壓重下，若生長空間不足，種植綠豆顆數越多，豆子發芽時會互相壓迫，導致綠豆芽長度較短。反之，若在生長空間充足，相同壓重下，種植顆數越多，單顆綠豆芽所需負擔的重量較少，綠豆芽生長長度較長。

柒、結論

一、我們發現室內溫度和室外溫度種出來的綠豆芽差異不大，我們推測其原因，可能是室內外的溫度差異不大所導致。可是有照光和無照光所種出來的豆芽差異極大，有照光的豆芽長的是細長，而且是淺綠色的，吃起來味道略有苦味，應該是有行光和作用，產生葉綠素的因素。無照光的豆芽是黃白色，長得又短又胖，味道比較甜。

二、實驗中發現，壓的重量越平均越好，如果壓得很平均，所長出來的豆芽長短會一致，如果壓的重量不平均，長出來的豆芽長短會差很多，甚至有些豆芽承受太重的壓力，導致長不長且容易出水腐爛。發現有壓重的豆芽會比無壓重的豆芽粗、短，無壓重的豆芽長的較細長。

三、種綠豆之前，一定要把綠豆泡水，使得綠豆發芽，這樣子可以事先挑出發不出芽的豆子，增加綠豆的發芽率，如果不事先泡水，可能有些豆芽是發不出芽的，或是生長到一半就變黑、枯萎、死亡，那就會影響到整個實驗。

四、在不同重量的壓重物，對綠豆的發芽能力及生長情況之實驗中。我們發現壓重 7、8 倍的豆芽出水、爛掉(如圖 5-3)，9 倍以上的豆芽全數死掉。所以我們推測綠豆發芽時，所能承載的最大重量，大約是在 8 倍，即壓重物的重量：豆子顆數 ＝ 8（g）：1（顆），一顆豆子大約可以承載 8gw 的重量，果然，接下來的實驗更進一步驗證我們的想法。壓重 7-8 倍左右的重物，可以使綠豆芽長的最短最胖。

五、我們發現在 8 倍壓重的限度內，隨著重物的增加，豆芽反而長的較短、較粗、較胖，但超過 8 倍壓重，那豆芽就不堪負荷，長的較短，甚至會死亡。所以栽培豆芽菜時，最好控制壓重在 7-8 倍，即壓重物的重量（gw）是豆芽顆數（顆）的 7-8 倍

六、豆芽進行生長空間增大，及改善空氣流通等因素，對綠豆芽成長狀況的影響實驗中，發現在隔板上戳洞使空氣流通 ，對綠豆芽成長的影響較小，生長空間增大則可使豆芽擁有較佳的生長情況。而綠豆的品質對豆芽的成長，是最有決定性的影響，品質好的綠豆存活率及發芽率較高。

七、根據此次的實驗，我們歸納出一個如何種最粗、最胖、最好吃綠豆芽菜的方法。首先，

需準備一個不照光的環境或容器，將綠豆清洗、浸泡，挑選出健康的豆子，將健康的豆子平鋪在容器上，放上隔板，用 8 倍豆子顆數的重量（gw）施壓，並定時適量澆水，5-6 天，就可以吃到自己種的豆芽菜，可以享受到種菜的樂趣，又可以吃到健康有機的蔬菜，甚至可以吸收二氧化碳，減緩溫室效應，何樂而不為。

八、檢討與改進

（一）因為實驗中壓板及壓重物會傾斜，導致壓力不平均，所以豆芽的生長高度也不一致，故無法記錄壓板被豆芽頂起的高度變化，無法知道在何段時間，豆芽具有最大的上升力量，但經由肉眼觀察及部分有效紀錄，發現大約是第二至第三天，豆芽具有最大的上升力量，因為此時壓板的高度變化最明顯。

（二）因為豆芽的成長，很難控制，所以我們就先進行模擬實驗，盡量找出實驗時可能會遇到的問題與狀況，並設法加以克服，以減少正式實驗時所遇到的問題，但在實際實驗時，還是會有意想不到的狀況發生，例如天氣的變化、人員疏忽，所以得到的數據資料不是很精確，很難看出精確的變化，但卻可以呈現一個趨勢，讓我們判讀這個因素對綠豆芽成長的影響，進而找出如何種出最棒綠豆芽的方法。

捌、附錄與參考資料

一、林英智、李清勝、黃能堂、張永達、蔡尚芳(2011) ・第六章 力與壓力・國中自然與生活科技，(第四冊)・台北・康軒文教。

二、http://tw.knowledge.yahoo.com/question/question?qid=1007090609462

三、http://tw.myblog.yahoo.com/jw!GWffXq.YEQcVoC7pRJ6Gi1PCneCJ2zz41LuuDg--/article?mid=2681

【評語】030107

1. 作者研究綠豆芽受重物下壓狀況下生長的情形，找出能提供豆芽良好生長之最大壓力範圍，題材十分有趣。

2. 本作品主要提供豆芽生長的狀態，若能對於物理量，例如豆芽的直徑，長度等作定量的描述和探討會更好。