

施氮對芋植株生長及乾物生產分配之影響¹

蔡永暉²

摘 要

芋是熱帶及亞熱帶地區重要的球莖作物。為了促使地下球莖肥大，芋需要吸收充足的氮素，以累積大量的乾物質，並順利轉移至地下部。本研究目的，即是探討氮素與芋植株生長及乾物生產分配之關係。試驗結果顯示，株高、葉片面積、乾物重、及球莖產量等性狀與氮肥用量呈極顯著之正相關，且差異以倍數計。無氮區植株矮小黃化，提早成熟，球莖公頃產量，水芋 4~6 公噸，旱芋 6~14 公噸。施用氮素後，株高及葉片面積均隨施氮量增加而增加，球莖公頃產量，水芋 31~34 公噸，旱芋 21~23 公噸，水芋平均增產 452~493%，旱芋 60~138%。過量施用氮素，乾物質大部分累積於地上部莖葉，不易轉移至地下球莖，造成乾物分配率及收穫指數降低。氮素公頃推薦量，新作田水芋為 640 公斤，旱芋為 340 公斤，而連作田施用量高於新作田。若採用促成栽培，實施水分管理，並配合生育期調整施肥技術，則芋施肥量可望再降低。

關鍵語:芋、氮素、生育性狀、乾物生產量、乾物分配率、收穫指數、塊莖產量

前 言

芋(*Colocasia esculenta* (L.) Schott) 屬於天南星科，是多年生宿根性球莖作物，含豐富澱粉、礦物質、及維生素等。適合種植於熱帶及亞熱帶地區，是該區的主食或副食之一。本省年栽培面積約 2715 公頃，其中屏東縣佔 25%，台中縣佔 22%，苗栗縣佔 17%，高雄縣佔 10%，花蓮縣佔 7%，平均公頃產量 14 公噸(1)。芋適應性很廣，一般耕地、水田、旱田、及山地均可種植，但公頃產量差異很大，低產僅 4 公噸(10)，高產可達 35 公噸(4,16)。

芋依栽培法可區分為水芋及旱芋。水芋以湛水栽培，養分容易流失，需施用大量肥料。旱芋以旱田栽培，一般種植於山坡地，很少施肥，惟近年來有平地化及經濟施肥的趨勢。氮肥對芋產量影響相當大，不施氮肥時，平均可減產 33~64%(6,7,10,16)。研究芋田養分動態的報告並不多，主要的研究均以經濟施肥為主。

¹本試驗承行政院農業委員會經費補助(87 科技-1.6-糧-11、及 88 科技-1.6-糧-03)，謹致謝忱。

²行政院農業委員會高雄區農業改良場副研究員兼旗南分場主任。

³審查委員:鄭雙福教授，服務機關:國立屏東科技大學農園系。

在夏威夷，旱芋的氮肥推荐用量，種植時每公頃施用氮素 88 公斤，於移植後 90 及 180 天，再分別施用 44 公斤(12)。另外，亦有推荐於種植前每公頃施用氮素 146 公斤，移植後 60、120、180 天，再分別施用氮素 78 公斤(5)。其他國外旱芋的氮肥推荐量，每公頃約為 40~120 公斤(3,6,7,10,14,15,16)。水芋的氮素推荐量，本省施肥手冊的推荐量為每公頃 700 公斤，而夏威夷水芋最適當的氮肥用量則介於 560~1120 公斤之間(6)。

芋生育期可分為四個階段：生長初期、地上部生長旺盛期、球莖快速膨大期、及球莖成熟期(2,13)。依據農試所報告(2)，第一階段生長期，水芋每株乾物生產量，兩個月內僅增加 6.3 克，並以新葉片生成為主，球莖處於消耗狀態；第二階段生長期，葉面積顯著增加，地上部生長旺盛，每株乾物生產量，三個月內增加 142.6 公克，其中地上部佔 55%，地下球莖佔 45%，以地上部生長為主；第三階段生長期，球莖比例以每個月 10% 的速度成長，每株乾物生產量，二個月內增加 202.3 公克，其中 67.6% 分配至球莖，球莖快速膨大，而地上部分配比例，大幅減少；第四階段生長期，葉片開始黃化脫落，地上部乾重不增反減，而球莖仍繼續增大。其中影響產量最主要的時期是第三階段的球莖快速膨大期(8)。此時期的乾物生產量，能否分配至地下球莖，將是導致高產與否的關鍵因素。有些報告指出(6,11,9)，氮肥用量對球莖乾物分配率有顯著之影響，在缺氮下，乾物生產量雖低，但分配至球莖的比例卻很高，反之，在氮量充足下，乾物生產量及球莖產量雖比缺氮區高，但分配至球莖的比例反而降低，大部分累積於地上部莖葉。另據夏威夷報告(6)，植後 90 天球莖乾物分配率，無氮區水芋為 0.57，旱芋為 0.28，施氮區水芋降為 0.33，旱芋則提高為 0.35，顯示氮肥對水芋及旱芋球莖乾物分配率有不同的效應。

為了解本省水芋及旱芋最適當的田間氮肥用量，及探討氮素對芋植株生長及乾物分配之影響，特進行本試驗。

材料與方法

芋連續兩年（1997 年 9 月及 1998 年 9 月）定植於同一試驗田，試區土壤母質為石灰性砂頁岩及粘板岩混合沖積土，屬於和興(Cw)土系，表底土均為壤土，pH 值分別為 6.5 及 7.5，排水不完全。芋品種為高雄一號，苗齡約 1.5 個月，苗株鮮重約 60~100 公克。芋栽培法分為水芋及旱芋二種，水芋以湛水栽培，定植後浸水六個月，再以旱田管理，旱芋全生育期均以旱田管理，並以高畦覆蓋 PE 布栽培。水芋及旱芋的氮素用量均為四個變級，分別為每公頃施用 0、300、600、900 公斤，其中旱芋第二年改為 0、100、200、300 公斤。田間氮肥處理採 RCBD 設計，三重複，小區面積 60 m²，行株距 78x 30 公分。磷、鉀肥施用量，每公頃固定為 200 及 600 公斤。化學肥料種類為硫酸銨、過磷酸鈣、及氯化鉀。另外，

每區加施堆肥，每公頃 20 公噸，第一年為崙背牛糞堆肥，第二年為台糖虎尾蔗渣堆肥。肥料施肥法及時期，以全量堆肥、全量磷肥、及氮鉀肥各 10% 當基肥用，剩餘 90% 之氮鉀肥，於種植後 6 個月內，均分施用。追肥施用期距，第一年每 20 天，第二年每 30 天施肥乙次，至植後 6 個月為止，合計第一年施肥 10 次，第二年施肥 7 次。芋苗成活後，水芋田間保持浸水 3~5 公分狀態，約 6 個月後田間排水，再以旱田管理。生育期間除蘖二次，第一次於移植後 3~4 個月，第二次於移植後 5~6 個月。植株採樣調查，每二個月進行乙次，每次 4 株，分別調查株高、分蘖數、葉片數目、及葉片大小，並分別測定植株各部位之鮮重與乾重，並換算成乾物分配率及收穫指數，收穫指數即經濟產量及生物產量之比值，經濟產量等於球莖產量，而生物產量是植株地上部(包括葉片及葉柄)，和地下球莖的總和。試驗期間逐日記錄氣象資料(旗南分場二級氣象站)，包括日平均氣溫、日降雨量、及日照時數等。

結果與討論

一、試驗期間氣象之變化

試驗期間各月份之平均氣溫日降、雨量及日照時數，如表 1 所示。芋生育初期，氣溫高雨水多，生育中期轉為冷涼乾旱，生育後期又回升至高溫高濕，這種趨勢年度間差異不大，但仍有細微的差異。1997 年比 1998 年平均氣溫低 0.4℃，平均降雨量高 1.4mm，平均日照時數高 0.4hr。1997 年的高量降雨，主要發生於芋成熟期(5 月下旬及 6 月上旬)，此期平均日降雨量高達 6-20mm，地下球莖含水量由原 70% 回升至 75%，球莖膨脹後，再經乾旱脫水，形成空洞，對該年的球莖品質有明顯的影響。因此，芋生育後的水份管理仍應加以重視。

表 1. 試驗期間每日平均氣溫、日降雨量、及日照時數等氣象資料

Table 1. Daily mean temperature, precipitation and solar hours at Chi-Nu area during the cropping seasons

Month	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	AVG
Temperature(℃)												
1997	27.7	26.3	23.4	20.4	19.6	19.9	22.7	25.7	27.4	28.4	24.1	
1998	28.1	26.4	22.8	20.7	20.2	20.6	25.0	26.2	26.7	29.4	24.6	
Precipitation(mm)												
1997	12.4	0.4	0	0.4	3.1	4.3	2.9	9.1	6.0	20.0	5.9	
1998	6.1	7.4	0.1	0.6	0.2	0	0.2	2.6	8.8	8.4	3.4	
Solar radiation(hr)												
1997	4.8	5.2	7.6	5.3	5.3	4.2	5.2	5.8	5.8	5.3	5.5	
1998	5.8	5.9	4.5	4.5	4.9	6.2	4.9	4.5	4.7	6.4	5.2	

二、施氮對芋植株生育性狀之影響

氮素對株高、葉片數、葉長、葉寬之影響，結果示於表 2a 及 2b。

(一)株高

水芋及早芋的株高，都是隨著生長時間的增加，達到一定的高峰後開始下降。施氮對株高之影響，水旱芋間有明顯之差異，水芋株高隨施氮量增加而增加，並以每公頃施用氮素 900 公斤為最高，而旱芋則以每公頃施用氮素 300 公斤為最高。過量施用氮肥時，株高生長反而受到抑制。株高最大發生期，受氮肥用量的影響。二年結果顯示無氮區在植後 4 個月達到最高峰，此時平均水芋株高介於 74~84 公分，旱芋株高介於 86~109 公分。施用氮肥後，則在植後 8 個月達到最高峰，此時平均水芋株高 168~172 公分，旱芋株高 125~156 公分。若以生育階段來看，施氮對水芋株高之促進效應，移植後 2 個月已很明顯，不施用氮肥與施用 900KgN/ha 的差異達 7~20 公分，移植後 8 個月，兩者差距更達 93~101 公分。

表 2a. 施氮對芋株高及葉片數之影響(1997 秋植)

Table 2a. Effects of N rates on plant height and leaf numbers of taro crop at different growth stages

N Treat. Rates	Plant height(cm)					Leaf numbers(no.)				
	2M	4M	6M	8M	9M	2M	4M	6M	8M	9M
Wet- N0	64	84	80	79	66	4.4	4.0	4.7	3.0	2.2
Land N300	61	104	142	151	124	4.2	4.8	4.8	1.9	2.0
N600	71	132	165	163	129	4.5	5.2	5.1	2.6	2.0
Taro N900	71	130	168	172	132	4.7	5.3	5.1	2.3	2.0
AVG	67	113	139	141	113	4.5	4.8	4.9	2.5	2.1
LSD5%	7	7	20	30	14	0.4	0.7	1.0	0.8	0.5
Up- N0	41	93	109	103	78	5.0	5.2	4.0	2.8	1.7
Land N300	44	98	134	156	127	4.7	5.9	5.5	3.0	2.2
N600	40	96	128	149	129	5.3	5.9	5.8	2.9	1.9
Taro N900	43	93	123	143	133	4.9	5.5	5.2	2.6	1.6
AVG	42	95	124	138	117	5.0	5.6	5.1	2.8	1.9
LSD5%	7	10	19	20	14	1.1	0.7	0.9	1.0	0.5

(二)葉片數

芋葉片數目，不包括生長期枯萎及腐壞葉片，以生育中期最為旺盛。此期的葉片數，氮肥用量處理間，統計上並沒有明顯的差異，但平均值仍以無氮區最低，以植後 4 個月為例，無氮區水芋為 4.0~4.5 葉，旱芋為 4.4~5.2 葉，施氮後水芋增至 4.6~5.3 葉，旱芋增至 4.8~5.9 葉，顯示缺氮時，芋葉片數目會略微減少。移植後 6 個月，葉片數目開始降低，氮肥處理間仍沒有明顯差異。顯示芋葉片數目的性狀，可能受其他因素之影響大於氮肥影響。

芋具有巨大葉片，葉片的大小對氮肥反應相當敏感。氮肥用量增加，葉長與葉寬均同步直線增加。植後 8 個月，無氮區水芋葉長 28 公分，葉寬 19 公分，旱

芋葉長 31 公分，葉寬 21 公分，施用氮肥後，水芋葉長增至 57 公分，葉寬 40 公分，旱芋葉長增至 47 公分，葉寬 33 公分，換算成葉面積，水芋增加 328%，旱芋增加 138%。顯示葉片大小主要受氮肥用量之影響。而葉片面積愈大，若無遮光效應，光合量將隨之增加。

表 2b. 施氮對芋株高、葉片數及葉長寬之影響(1998 秋植)

Table 2b. Effects of N rates on plant height, leaf numbers, leaf length and width of taro crop at different growth stages

Treat.	N Rates	Plant height(cm)				Leaf numbers(no.)				Leaf length and width (cm)	
		2M	4M	6M	8M	2M	4M	6M	8M	L(8M)	W(8M)
	N0	50	74	61	67	3.6	4.5	5.1	3.7	27.7	18.7
Wet-	N300	64	97	103	98	3.9	4.6	5.0	3.3	34.8	23.3
Land	N600	69	109	126	130	4.1	4.8	5.2	3.4	46.0	31.4
Taro	N900	70	115	156	168	4.0	4.8	4.8	2.8	56.7	39.6
	AVG	63	99	112	116	3.9	4.7	5.0	3.3	41.3	28.2
	LSD5%	16	14	17	20	0.7	0.5	1.0	0.9	5.0	3.8
	N0	49	86	80	78	5.1	4.4	4.8	3.1	30.8	20.5
Up-	N100	49	90	83	100	4.5	4.8	4.9	3.6	39.8	27.0
Land	N200	62	96	84	106	5.1	5.0	5.1	3.6	40.3	27.8
Taro	N300	61	104	103	125	5.5	5.1	5.1	3.5	46.6	33.1
	AVG	55	94	88	102	5.1	4.8	5.0	3.5	39.3	27.1
	LSD5%	16	13	12	22	1.3	0.9	0.7	0.7	6.8	5.3

三、施氮對芋植株含水率及乾物生產分配之影響

芋生育期間植株鮮重與乾重，年度間的變化，如表 3a 及 3b 所示。隨著生長時間增加，達到高峰後開始下降，鮮重與乾重的變化曲線，年度間不論水芋或旱芋均相似。鮮重於植後 6~8 個月達到最大，乾重則於植後 8~9 個月達到最大。但生質量達到最大，所需的生育時間，氮肥處理間沒有顯著的差異。

(一)含水率

鮮重與乾重達到最大的時間不一致，主要原因是植株各部位含水率不同。芋植株各部位含水率以葉柄最高，不論水芋或旱芋，全生育期葉柄含水率平均為 94~95%，其次為葉片，含水率為 82~85%，最低為地下部球莖，平均含水率為 65~75%。當植株生育期達 6 個月以上時，地上部重量開始遞減，而地下部球莖仍持續增加，若以鮮重為計算基礎，地上部莖葉淨減率高於地下部淨增率，造成植株總鮮重下降，但若以乾重為計算基礎，地上部的淨減率仍低於地下部球莖的淨增率，因此植株總乾物重仍持續增加，並造成乾物重達最大的時間延後。另外，植株各部位的含水率，以球莖的變異較大，球莖含水率隨生育期增加而遞減，以移植後 2、4、6、8 個月為例，球莖平均含水率分別為 84%、75%、72%、70%，當含水量降至 70%時，已接近成熟。此時

若再吸水膨脹，對球莖品質不利。以 1997 年為例，成熟期 10 天內連續降雨 587mm，造成田間浸水，球莖含水量由 70% 回升至 75%，之後再乾旱，芋球莖內部已形成空洞，質地鬆軟，不耐貯存。

表 3a. 施氮對芋植株總鮮重及總乾重之影響(1997 秋植)

Table 3a. Effects of N rates on total fresh and dry weight of taro crop at different growth stages

Treat.	N Rates	Total fwt.(g/pl)						Total dwt.(g/pl)				
		2M	4M	6M	8M	9M	10M	2M	4M	6M	8M	9M
Wet-Land Taro	N0	114	326	423	387	361	281	12	42	71	100	78
	N300	105	715	1193	1216	1526	668	12	74	135	236	292
	N600	145	1235	2131	1530	1667	985	15	116	231	331	325
	N900	166	1252	2036	1594	1593	1014	17	109	208	298	310
	AVG	133	882	1446	1182	1287	737	14	85	161	241	251
	LSD5%	36	155	493	515	325	142	4.1	17.4	38.3	62.9	49.1
Up-Land Tarp	N0	71	579	766	780	447	414	6	64	116	171	97
	N300	67	689	1423	1544	1359	673	7	70	180	228	207
	N600	58	728	1383	1433	1399	689	6	73	179	214	192
	N900	54	695	1225	939	1206	638	5	79	140	153	151
	AVG	63	673	1199	1174	1103	604	6	72	154	191	162
	LSD5%	29	302	369	540	283	167	3.8	18.0	31.9	31.4	33.9

表 3b. 施氮對芋植株總鮮重及總乾重之影響(1998 秋植)

Table 3b. Effects of N rates on total fresh and dry weight of taro crop at different growth stages

Treat.	N Rates	Total fwt.(g/pl)				Total dwt.(g/pl)			
		2M	4M	6M	8M	2M	4M	6M	8M
Wet-Land Taro	N0	66	224	192	231	6	34	35	46
	N300	138	550	632	545	12	78	90	116
	N600	137	751	1108	1124	13	94	146	221
	N900	107	840	1372	1526	10	101	156	275
	AVG	112	591	826	856	10	77	107	164
	LSD5%		213	273	233		29	36	
Up-Land Taro	N0	67	500	403	261	7	65	61	61
	N100	100	448	426	526	10	63	67	110
	N200	155	404	390	680	16	58	64	130
	N300	162	654	689	843	15	81	87	165
	AVG	121	502	477	578	12	67	70	116
	LSD5%		161	176	141		20	17	

(二)總乾物量

施氮對芋植株乾物生產量有極大之影響，自移植後 2 個月就有顯著的差異，至移植後 8~9 個月差異達最大。以最大差異期植後 8 個月為例，水芋單株乾物重，無氮區 1997 年及 1998 年分別為 100 公克及 46 公克，施用氮素後分別增至 331 公克及 275 公克，增幅達 231~498%，若計算同期的旱芋，發現施氮的增幅亦可達 113~170%。若比較總乾物量的增幅與葉片面積的增幅，顯

示兩者大致相同，因此證實總乾物量多寡與葉面積是有關連的，且均隨施氮量增加而增加。水芋植株乾物重，1997 年以施氮 600 公斤區最高，1998 年以施氮 900 公斤區最高，而旱芋 1997 年及 1998 年均以施氮 300 公斤區最高。顯示合理施氮對芋乾物生產量有促進作用，但旱芋過量施氮，不僅株高及葉片數降低，總乾物生產量亦降低。

(三)四個生長階段之乾物生產量與分配率

施氮顯著增加植株的總乾物量，但各生長階段增加的乾物量，究竟各有多少比率分配至地下球莖，將是影響球莖產量的重要因素。氮對各生長階段植株乾物生產量及各部位分配率之影響，詳如表 4a 及 4b。

表 4a. 施氮對各生長階段芋植株各部位乾物生產量及分配率之影響(1997 秋植)

Table 4a. Effects of N rates on production and % partition of taro dry matter at different growth stages (1997)

Growth Stages	N Rates	Wetland taro				N Rates	Upland taro			
		DM (g/pl)	Petiole (%)	Corm (%)	Leaf (%)		DM (g/pl)	Petiole (%)	Corm (%)	Leaf (%)
1 st (0~2M)	N0	10.6	51	8	41	N0	5.1	27	18	55
	N300	10.3	40	19	41	N300	5.3	36	13	51
	N600	14.2	44	18	38	N600	5.2	31	17	52
	N900	15.6	47	11	42	N900	3.6	20	19	61
	AVG	12.7	46	13	41	AVG	4.8	29	17	54
2 nd (2~4M)	N0	29.8	23	68	9	N0	57.3	31	44	25
	N300	62.1	35	49	16	N300	63.4	29	43	28
	N600	100.4	36	44	19	N600	66.1	29	43	28
	N900	92.3	35	46	19	N900	73.7	29	45	26
	AVG	71.1	32	52	16	AVG	65.1	29	44	27
3 rd (4~6M)	N0	29.0	2	97	1	N0	52.7	10	93	<0
	N300	61.5	21	70	9	N300	110.2	24	64	12
	N600	115.7	25	72	3	N600	106.2	25	63	12
	N900	98.4	25	70	5	N900	61.4	28	57	15
	AVG	76.1	18	77	5	AVG	82.6	23	67	10
4 th (6~8M)	N0	29.0	<0	>100	<0	N0	54.3	<0	>100	<0
	N300	101.1	<0	>100	<0	N300	47.7	<0	>100	<0
	N600	99.2	<0	>100	<0	N600	34.8	<0	>100	<0
	N900	90.2	<0	>100	<0	N900	13.1	<0	>100	<0
	AVG	79.9	<0	>100	<0	AVG	37.5	<0	>100	<0

芋生長第一階段(移植後 2 個月內)，平均每株乾物生產量，水芋 8.9~12.7 公克，旱芋 4.8~10.7 公克，乾物量極低，植株尚處於生長適應期，氮肥處理間並沒有顯著差異。以乾物分配率來看，分配至葉片者，水芋 36~41%，旱芋 47~54%，分配至葉柄者，水芋 37~46%，旱芋 29%~31%，分配至球莖者，水芋 13%~27%，旱芋 17%~22%；由此可見，芋生長初期以形成地上部莖葉為主。有 73%~87%的乾物生產量分配於地上部莖葉，僅 13~27%分配於地下部

球莖。而地上部的分配部位，水芋以形成葉柄為主，旱芋以形成葉片為主。

芋生長第二階段(移植後 2~4 個月內)，乾物生產量大幅增加，氮肥效應開始顯現。單株乾物生產量，水芋無氮區 28~30 公克，施氮區 91~100 公克，增幅達 228~237%，旱芋無氮區 57~58 公克，施氮區 66~74 公克，增幅達 15~29%。以乾物分配率來看，施氮處理差異仍不明顯。乾物生產量仍有一半以上，分配於莖葉營養器官。其中水芋葉片佔 16%~18%，葉柄佔 31%~35%，旱芋葉片佔 19%~27%，葉柄佔 28%~29%，水芋仍以葉柄，旱芋仍葉片形成為主。

表 4b. 施氮對各生長階段芋植株各部位乾物生產量及分配率之影響(1998 秋植)

Table 4b. Effects of N rates on production and % partition of taro dry matter at different growth stages (1998)

Growth Stages	N Rates	Wetland land				N Rates	Upland taro			
		DM (g/pl)	Petiole (%)	Corm (%)	Leaf (%)		DM (g/pl)	Petiole (%)	Corm (%)	Leaf (%)
1 st (0~2M)	N0	4.9	31	31	38	N0	5.8	26	22	52
	N300	11.1	40	22	38	N100	8.5	28	25	47
	N600	11.4	40	29	31	N200	14.5	31	24	45
	N900	8.3	36	27	37	N300	13.8	34	19	47
	AVG	8.9	37	27	36	AVG	10.7	31	22	47
2 nd (2~4M)	N0	27.8	31	51	18	N0	57.6	29	49	22
	N300	65.7	32	54	14	N100	53.5	27	53	20
	N600	81.9	32	52	16	N200	42.5	25	58	17
	N900	91.1	29	54	17	N300	66.2	33	48	19
	AVG	66.6	31	53	16	AVG	54.9	28	52	20
3 rd (4~6M)	N0	0.9	<0	>100	<0	N0	-3.8	<0	>100	<0
	N300	11.5	<0	>100	<0	N100	4.0	<0	>100	<0
	N600	51.8	18	76	6	N200	5.5	<0	>100	<0
	N900	55.0	35	60	5	N300	6.0	<0	>100	<0
	AVG	29.8	17	81	2	AVG	2.9	<0	>100	<0
4 th (6~8M)	N0	10.6	<0	>100	<0	N0	0.1	<0	>100	<0
	N300	26.7	<0	>100	<0	N100	42.6	<0	>100	<0
	N600	74.3	<0	>100	<0	N200	66.6	8	92	0
	N900	119.6	<0	>100	<0	N300	77.6	<0	>100	<0
	AVG	57.8	<0	>100	<0	AVG	46.7	<0	>100	<0

芋生長第三階段(移植後 4~6 個月內)，開始進入球莖快速肥大期，氮肥對乾物量的增產效應更為明顯。單株乾物生產量，水芋無氮區 1~29 公克，施氮區 55~116 公克，增幅達 300% 以上，旱芋無氮區 4~53 公克，施氮區 6~110 公克，增幅達 109%。此期的乾物生產量，年度間的變異很大，第一年仍維持增加，第二年卻顯著減少，無氮區甚至出現負成長，其中連作問題或是田間管理不良，都是可能原因。而過量施氮區，乾物生產量反而降低，可能是此期芋生長對氮肥特別敏感。以乾物分配率來看，此期的施氮處理差異十分明

顯。分配至地下球莖的比例，無氮區 93% 以上，施氮區 64~72%，過量施氮區 57~63%，施氮愈多球莖的分配率愈低。

芋生長第四階段(移植後 6~8 個月內)，開始進入成熟期，田間已停止施肥，水芋改為旱式管理。而田間的氮肥增產效應及乾重生產量依然存在，惟年度間的差異迥然不同。單株乾物最大生產量，第一年以低氮區最佳(水芋 N300 及早芋 N0)，達 54~101 公克，第二年則以高氮區最佳(水芋 N900 及早芋 N300)，達 78~120 公克，顯示其間的差異可能來自於土壤氮素殘留量的不同。此期乾物分配率，處理間已無差異，100% 全部轉移至地下球莖，且有大量前生長階段貯存的碳水化合物，由地上部葉片及葉柄轉移至地下球莖，致本生長階段葉片及葉柄乾物分配率不增反減，而以 <0 表示之，亦因此形成本生長階段球莖之乾物分配率 >100。

(四)收穫指數

芋栽培最主要的收穫部位，是地下球莖，即是所謂的經濟產量(Y_e)。而收穫指數($I_h = Y_e / Y_t$)是經濟產量與植株總生物產量(Y_t)之百分率。在栽培過程中，提高收穫指數，可激發產量潛能。芋植株各生育階段收穫指數的變化，詳如表 5。

表 5. 施氮對不同生育階段芋收穫指數之影響

Table 5. Effects of N rates on taro harvest index at different growth stages

Years	Taro	N Rates	Growth stages			
			1st	2nd	3rd	4th
1997	Wetland	N0	11	51	70	86
		N300	20	44	56	79
		N600	19	41	57	83
		N900	12	41	55	80
		AVG	16	44	59	82
	Upland	N0	20	42	65	81
		N300	16	40	54	76
		N600	20	41	53	74
		N900	24	44	50	76
		AVG	20	42	56	76
1998	Wetland	N0	31	48	70	81
		N300	24	49	60	86
		N600	29	49	59	84
		N900	27	51	54	81
		AVG	28	49	61	83
	Upland	N0	24	46	68	90
		N100	25	49	70	85
		N200	25	49	70	82
		N300	21	44	62	83
		AVG	24	47	67	85

芋移植後 2 個月植株生長以地上部為主，收穫指數平均 22%，移植後 4 個月收穫指數增為 46%，移植後 6 個月收穫指數為 61%，至移植後 8 個月收穫指數為 81%。顯示芋收穫指數隨生育期增加而遞增，平均每個月以約 10% 的速度成長，而地上部葉片及葉柄合計則以每個月約 10% 的速度遞減。以此類推，當芋生育期達 8 個月時，收穫指數可達 80% 以上，大致可以進行採收。

施氮對收穫指數之影響，以第三生長階段(球莖快速肥大期)最為明顯，無氮區收穫指數為 65~70%，施氮區為 54~57%，過量施氮區(N900)為 50~54%，顯示施氮愈高，收穫指數趨於降低。施氮雖可促進莖葉生長，及乾物量增加，但卻降低球莖的乾物分配率，因此氮肥需要合理的施用。若以前述所提，收穫指數達 80% 以上可以採收，則無氮區可提前約 1 個月採收。若以相同生育期來比較收穫指數，則指數高，並不一定代表高產，亦可能是早熟現象。一般收穫指數與品種特性有關，可由育種加以控制改良，但達到該指數的生育日數，可藉由栽培管理來控制，氮肥合理施用即為一例。

四、芋田氮素推荐量及施氮效率

芋之葉柄及球莖均為可食用部位，但以球莖為主要收穫物，且球莖產量愈高，產值愈大。施氮對球莖鮮重之影響，如表 6 所示。施氮 4 個月後球莖產量開始明顯增加，氮肥處理間亦明顯有差異，至採收期差異達最大。採收時每公頃球莖產量，無氮區水芋 4~6 公噸，旱芋 6~14 公噸，旱芋大於水芋；施氮後水芋產量 26~34 公噸，旱芋 15~23 公噸，水芋產量反而大於旱芋。施氮增加，球莖產量隨之增加，水芋增幅達 452%~493%，旱芋增幅達 60%~138%。水芋對氮肥效應較為明顯。

兩年來水芋平均產量，以每公頃施氮 900 公斤區產量最高，旱芋則以施 300 公斤區最高。以最高產量區來計算氮素的生產效率，每公斤氮素可生產球莖，水芋 21 31 公斤，旱芋 26 29 公斤。施氮的經濟效益，如以每公斤氮素 25 元，而每公斤球莖價格為 10 元計算，施氮的純效益約為 11 倍，因此，最高產量的施氮量，仍符合經濟效益。

若以球莖產量及氮素用量做迴歸分析，結果如圖 1 所示，1997 年水芋公頃最高產量可達 34 公噸，相對氮肥用量為 850 公斤，而旱芋最高產量為 23 公噸，氮肥用量為 540 公斤。若以最高產量的 95% 為最適的氮素推荐量，則水芋為 640 公斤，旱芋為 340 公斤。1998 年球莖產量與氮素施用量間之關係，顯然與 1997 年有很大差異，迴歸分析顯示最高氮素處理量並未能使產量達最高，欲達最高產量，水芋及旱芋每公頃氮素用量分別為 1650 與 850 公斤。

依報酬遞減率，求得球莖增產率(Y)與氮肥用量(N)間之關係式如下，1997 年水芋為 $Y=66.1-0.078N$ ，旱芋為 $Y=33.2-0.063N$ ；1998 年水芋為

$Y=33.5-0.021N$ ，旱芋則為 $Y=34.4-0.041N$ 。單位氮素之球莖增產率，以水芋而言，顯然第二年低於第一年。

芋田連作第二年，不論是水芋或旱芋，球莖產量均明顯降低，無氮區公頃產量，水芋由 6.1 公噸降至 4.3 公噸，施氮區由 33.7 公噸降至 25.5 公噸；旱芋由 14.1 公噸降至 6.3 公噸，施氮區由 22.5 公噸降至 15.0 公噸。顯然芋有明顯的連作問題，單靠增加施氮用量，仍無法改善減產效應。連作減產問題，在栽培技術上，猶待探討其他因素，並加以克服。

表 6. 施氮對芋不同生育期球莖鮮重及產量之影響

Table 6. Effects of N rates on corm yield of taro crop at different growth stages

	N Rates	1997 Corm fwt						1998 Corm fwt					
		g/pl		g/pl		t/ha		g/pl		g/pl		t/ha	
		2M	4M	6M	8M	9M	9M	2M	4M	6M	8M	8M	
Wetland Taro	N0	6	73	159	248	243	6.1	N0	12	46	72	122	4.3
	N300	12	138	286	576	949	21.8	N300	18	126	189	335	12.1
	N600	16	212	514	836	996	32.1	N600	21	156	308	616	21.4
	N900	12	271	466	779	989	33.7	N900	18	184	330	738	25.5
	AVG	12	174	356	610	794	23.4	AVG	17	128	225	453	15.8
	LSD5%	5	102	138	258	198	4.2	LSD5%	9	55	69	66	1.9
Upland Taro	N0	11	111	216	450	349	14.1	N0	11	103	165	182	6.3
	N300	9	126	364	714	798	21.8	N100	15	102	179	312	10.0
	N600	9	130	333	617	714	22.5	N200	21	95	160	353	12.1
	N900	7	145	270	445	571	18.9	N300	19	128	229	456	15.0
	AVG	9	128	296	556	608	19.3	AVG	17	111	183	326	10.9
	LSD5%	4	86	96	236	167	2.1	LSD5%	9	38	49	63	1.1

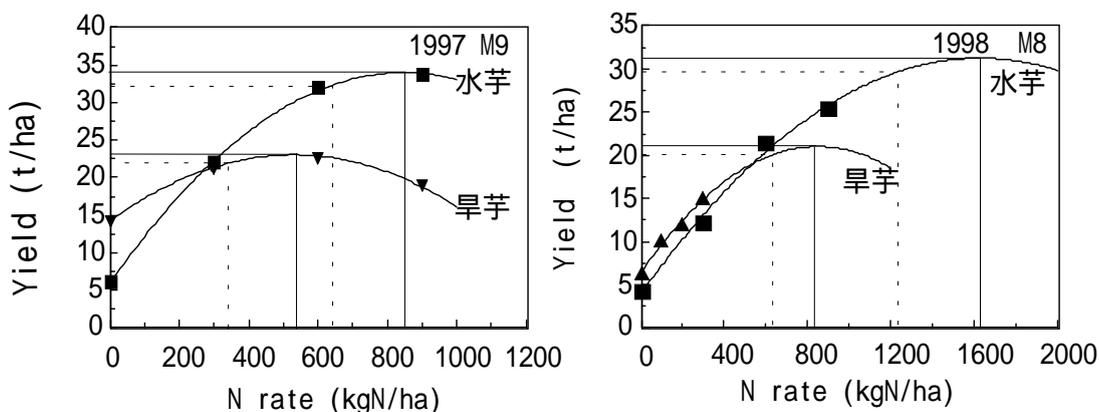


圖 1. 水芋及旱芋最適當的氮素推荐量及球莖產量

Fig 1. Regression of corm yield vs N rates

討論與建議

不論水芋或旱芋，芋自定植後，球莖收穫指數平均每個月以約 10% 的速度成長，而地上部莖葉則以每個月約 10% 的速度遞減，當收穫指數達 80~100%，芋植株大致成熟，可以進行採收。田間施氮後，芋植株生長性狀，自生長第二階段起株高、葉面積及乾物總生產量開始明顯增加，但球莖收穫指數仍以每個月約 10% 的速度成長，並未增加；自生長第三階段起，球莖的乾物分配率大幅增加，無氮區 93%，施氮區 64~72%，過量施氮區 57~63%，施氮愈多分配率愈低，致生產的乾物質大部分停留在地上部莖葉，而球莖收穫指數，亦開始降低，平均每個月的成長率，無氮區 11~12%，施氮區 9~10%，過量施氮區 8~9%。顯示此期的施氮對乾物分配率及收穫指數呈現負面效果。因此，欲提高球莖收穫指數及分配率，應於生育第二階段完成後，調整氮肥的施用量，不但可達促成栽培，且可達增產目的。

1998 比 1997 年低產，可能原因如下：一、氣象因素，1998 年日照時數低，可利用的太陽能較少。二、施肥期距拉長，1998 年每 30 天施肥一次，1997 年每 20 天施肥一次。三、土壤缺氮及養分不平衡問題。四、連作問題，1997 為新作田，1998 為連作田，五、田間水分滲漏速率高，1998 年湛水期間，約 1~2 天灌溉乙次，1997 年約 2~3 天灌溉乙次。依據夏威夷 Manrique 報告指出(11)，水芋經過長期浸水之後，有大量的氮素會經由淋洗及脫氮損失，造成第二年土壤明顯的缺氮現象。

欲增加球莖產量，除了提高乾物生產量及球莖分配率之外。另外，可藉由減少乾物損耗來改善。在乾物的分配過程中，除了一部分分配至球莖外，另有一部分用於分蘖，在母芋栽培上，分蘖形成子芋徒增養分消耗，在田間管理上，需進行除蘖工作，以減少乾物質的支出。主要除蘖時期，約移植後 3.5~4 個月，進行第一次除蘖，此時分蘖數約 3~6 個，高度約 30 公分，適合除蘖工作，除蘖之後，母芋球莖快速肥大，至移植後約 6 個月，需再進行第二次除蘖，此後需要隨時除蘖，以確保母芋乾物質不受分蘖影響。

水芋採用浸水栽培，適當的施用氮肥，可以顯著增加球莖產量，其增產效果優於旱芋，同時田間可以抑制雜草，降低分蘖數，大大簡化田間操作，農友樂於採用。然而，在水芋栽培過程中，何時需要進行田間排水，改為旱田管理，時機上仍有待探討。依據乾物生產量資料，移植後 4~6 個月，旱芋的生產量不遜於水芋。顯示適當的排水時期，可以選擇在移植後 4~6 個月進行，即第一次除蘖之後或第二次除蘖之前。此時進行排水，一方面可方便除蘖工作，另一方面可確保產量。目前常見的曬田時機，是移植後 6 個月，相當於第二次除蘖之後。時機上或許太晚，若能提前曬田，或許將更有利於促成栽培，及節約用水量與施肥量。

水芋的施肥量遠高於旱芋，主要的原因是水芋的養分利用率低。配合水芋生育階段，調整施肥量及施肥時機，可達精準施肥。水芋生長第一階段，空間大生長量低，施肥應以條施為主，每 10~15 天施一次，每次施氮量不宜超過 30kg/ha，生長第二階段，營養生長快速增加，根系大幅展開，施肥法以撒施為主，仍以 10~15 天施肥一次，每次施氮量，約為 40~60kg/ha，生長第三階段，植株大小已固定，大量的光合物質分配至球莖，且田間改為旱式栽培，施氮量宜降低，每個月不超過 30kg/ha，並以撒施為主，生長第四階段，球莖成熟期，不再施用氮肥，以利乾物轉移至地下球莖，並兼顧球莖品質。

主要參考文獻

- 1.台灣農業年報. 1998. 台灣省政府農林廳.
- 2.陳烈夫. 1996. 水芋收穫指數與乾物生產分配之關係. 中華農業研究 45(2): 174-185.
- 3.Ashokan, P.K., and V, Nair. 1984. Response of taro (*colocasia esculenta* (L.) Schott). to nitrogen and potassium. J. Root Crops 10: 59-63.
- 4.Ching, K.W. 1970. Development of starch, protein, leaf and tuber crops. pp143-146. IN: D.L. Plucknett (ed.) Proceedings International Symposium Tropical Root and Tuber Crops, August 23-30, 1970, Honolulu, HI.
- 5.De la Pena, R.S.. 1972. Upland taro. Home Garden Vegetable Series 18, Hawaii Cooperative Extension Service, University of Hawaii, Honolulu, HI.
- 6.De la Pena, R.S. and D.L. Plucknett. 1972. Effect of nitrogen fertilization on the growth, composition, and yield of upland and lowland taro (*colocasia esculenta*). Expl. Agric. 8: 187-194.
- 7.Igbokwe, M.C. and J.C. Ogbonnaya. 1980. Yield and nitrogen uptake by cocoyam as affected by nitrogen application and spacing. pp 255-257. IN: E.R. Terry et al. (ed.) Proceedings International Society Tropical Root Crops, Africa Branch, 8-12 September 1980, Ibadan, Nigeria.
- 8.Igbokwe, M.C. 1983. Growth and development of *Colocasia* and *Xanthosoma spp.* under upland conditions. pp172-174. IN: E.R. Terry et al. (eds.) Tropical Root Crops: Production and Uses in Africa. Proceedings 2nd. Symposium Society Root Crops, Africa Branch, Doula, Cameroon, 14-19 April, 1983.
- 9.Jacobs, B.C. and J. Clarke. 1993, Accumulation and partitioning of dry matter and nitrogen in traditional and improved cultivars of taro (*colocasia esculenta* (L.) Schott) under varying nitrogen supply. Field Crops Res.31: 317-328.

10. Kumar, V., V. Siveekumaran, K. Nair, and R.A. Aiyer. 1991. Fertilizer management of taro in the tribal holdings of Amboori. *J. Root Crops* 17: 69-70.
11. Manrique, Luis A. 1994. Nitrogen requirements of taro. *Journal of Plant Nutrition*. 17(8): 1429-1441.
12. Melchor, F.M. and R.S. de la Pena. 1976. Dryland taro production under mulch. Instant Information Series 16, Hawaii Cooperative Extension Series, University of Hawaii, Honolulu, HI.
13. Mohankumar, C.R. and N. Sadanandan. 1990a. Growth and rooting pattern of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *J. Root Crops* 16: 61-63.
14. Mohankumar, C.R. and N. Sadanandan. 1990b. Nutrient uptake pattern in taro as influenced by varying levels of NPK fertilization. *J. Root Crops* 16: 92-97.
15. Mohankumar, C.R., N. Sadanandan, and P. Saraswathy. 1990. Effect of levels of NPK and time of application of N and K on the yield of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott). *J. Root Crops* 16: 33-38.
16. Pardales, J. R., Jr., M. R. Villanueva, and F. R. Cotejo, Jr. 1981. Performance of taro under lowland conditions as affected by genotype, nutritional status and population density. *Ann. Trop. Res.* 4: 156-167.

Effects of N fertilization on growth and biomass production of taro crop¹

Yuong-How Tsai²

Abstract

Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) is an important root crop in the tropical and sub-tropical area. Taro can be distinguished as wetland and upland crop according to water management. Under optimum conditions, taro develops a large leaf area and accumulates substantial amounts of dry matter in the corms. In order to support this high biomass production, providing enough N is necessary. The purpose of this study is to understand the effects of N rates on growth and biomass production of taro crop and to recommend the appropriate N fertilizer rate for taro production. Field trials showed that plant height, leaf area, biomass production, and corm yield are the most important growth characters affected by N application. Without N application, corm yield reduce to 4~6 t/ha for wetland taro, and 6~14t/ha for upland taro, and also reduce plant size and prompt maturity by 1~2 months. After applying appropriate N fertilizer, plant size is getting bigger, while the corm yield reach to 31~34t/ha and 21~23t/ha for wetland and upland taro, and in this case, corm yield increase 452~493% and 60~138%, respectively. Excessive N fertilization also favors top growth, but reduces the proportion of dry matter allocated to the corms. And therefore cause both partition rate and harvest index for corm lower. For 1st-year taro, the recommendation of N are 640 kg/ha and 340kg/ha respectively for wetland and upland taro, however, the amount of N recommendation for continuous taro are much higher. Nitrogen rate can be reduced if adjusting fertilization technique and water management according to the growth stage of taro.

Key words: Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), N application, Growth character, Biomass production, partition ratio, harvest index, Corm yield.

¹This project was supported by a grant from the Council of Agriculture, Executive Yun

²Associate researcher, Chinan Branch, Kaohsiung District Agricultural Improvement Station.