

Fertilizer Use Efficiency of Taro (*Colocasia esculenta* Schott) and Nutrient Composition of Taro Tuber by NPK Fertilization

Ye-Jin Lee*, Jwa-Kyung Sung, Seul-Bi Lee, Jung-Eun Lim, Yo-Sung Song, and Deog-Bae Lee

Division of Soil & Fertilizer, National Academy of Agricultural Science, Wanju 55365, Korea

(Received: June 29 2016, Revised: July 22 2016, Accepted: August 29 2016)

The objectives of fertilizer recommendation are to prevent the application of excessive fertilization and to produce target yields. Also, optimal fertilization is important because crop quality can be influenced by fertilization. In this study, yields and fertilizer use efficiency of Taro (*Colocasia esculenta* Schott) were evaluated in different level of NPK fertilization. N, P and K fertilizer application rates were 5 levels (0, 50, 100, 150, 200%) by practical fertilization (N-P₂O₅-K₂O = 180-100-150 kg ha⁻¹), respectively. In the N treatment, the yields of Taro tuber were about 33 Mg ha⁻¹ from 90 to 360 kg ha⁻¹ N fertilization. However, the ratio of tuber to total biomass decreased with increasing N fertilization rate. In the P and K treatments, yields of Taro tuber were the highest at 150 kg ha⁻¹ fertilization. Fertilizer use efficiency was decreased by increase of N and K fertilization. Crude protein of Taro tuber was the highest at practical fertilization. Sucrose content of tuber was influenced by phosphate application.

Key words: Fertilization, Fertilizer use efficiency, Nutrient composition, Taro (*Colocasia esculenta* Schott)

Fertilizer use efficiency and fertilizer recovery of Taro by N, P and K application rate.

N Treatments			P ₂ O ₅ Treatments			K ₂ O Treatments		
N	FUE [†]	FR [‡]	P ₂ O ₅	FUE	FR	K ₂ O	FUE	FR
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
90	10.9	19.3	50	9.8	2.4	75	13.8	42.7
180	7.8	9.8	100	12.3	2.6	150	11.4	66.5
270	4.7	6.4	150	7.9	2.4	225	6.9	33.1
360	3.0	2.7	200	6.5	2.3	300	3.1	15.5

[†]Fertilizer use efficiency, [‡]Fertilizer recovery.

*Corresponding author: Phone: +82632382446, Fax: +82632382446, E-mail: leeyj418@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01050901)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

토란 (*Colocasia esculenta* Schott)은 주로 전남지역에서 재배되는 근채류로서 국내 재배면적은 약 188 ha이고, 연간 2,700여 톤이 생산되고 있다 (MFAFF, 2014). 과거에는 토란 괴경을 저장하여 식량으로 이용하는 등 구황작물 역할을 하였으나, 근래에는 필수아미노산과 식이섬유 등 영양성분이 풍부한 건강식품으로 각광받고 있다 (Matthews, 2010; Maga, 1992).

최근 고품질 농산물에 대한 소비자의 수요가 커지면서 작물의 영양성분을 높일 수 있는 재배관리에 대한 관심이 증가하고 있다. 그 중 시비관리는 작물의 수량 뿐만 아니라 품질을 제어할 수 있는 효과적인 방법 중 하나로서 (Wang et al., 2008), 토란의 영양학적 품질을 높일 수 있는 적정 양분관리가 필요하다.

토란의 주요 재배지인 태평양 지역에서 보고된 비료 추천량은 질소 60~140 kg ha⁻¹, 인산 25~125 kg ha⁻¹, 칼리 80~340 kg ha⁻¹ (Blamey, 1996; de Geus, 1967)이었고, 하와이에서는 질소 515 kg ha⁻¹, 인산 250 kg ha⁻¹, 칼리 670 kg ha⁻¹ (Silva et al., 1990)을 추천하고 있다. 토란은 생육 초기에 질소 요구량이 많고 (Manrique, 1994), 상당량의 칼륨을 흡수한다는 연구결과로 보아 다비성 작물인 것을 알 수 있다 (O'Sullivan et al., 1996). 토란과 마찬가지로 괴경을 수확하는 근채류 중 대표작물인 감자는 곡류에 비해 단백질 함량이 높는데, 그 이유는 질소, 인산, 칼리에 대한 양분요구량이 높기 때문이며, 그 중 칼리는 괴경의 전분 이동에 중요한 역할을 한다고 알려져 있다 (Eppendorfer and Eggum, 1994). 그러나 비료 사용이 토란 괴경의 영양학적 품질에 미치는 영향을 평가한 사례가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 토란 재배 시 질소, 인산, 칼리질 비료를 수준별로 사용했을 때 토란 수량 및 비료 이용효율을 평가하였고, 비료 사용량에 따른 괴경의 영양학적 품질을 평가하기 위하여 토란 가공에 따른 영양 평가 지표로 활용되었던 조단백질과 유리당 함량 변화를 조사하였다 (Hwang et al., 2013; Moon et al., 2010).

Materials and Methods

시험포장 및 처리내용 본 실험은 전라남도 곡성군 죽곡면 신흥리의 농가 포장에서 수행되었다. 토란은 2015년

3월 17일 정식하여 10월 6일에 수확하였다. 시험구는 질소, 인산, 칼리구 각각 5수준씩 난괴법으로 배치하였고, 구당 면적은 30 m²이었다. 토란은 재래종을 파종하였으며, 토란 괴경의 정상적인 생육을 위해 유기물 함량이 다소 높은 토양을 선정하였다 (Table 1). 시험구는 관행 비료 사용량인 N-P₂O₅-K₂O (180-100-150 kg ha⁻¹)를 기준으로 질소, 인산, 칼리구 각각 0, 50, 100, 150, 200% 수준으로 처리하였다. 질소구는 인산과 칼리, 인산구는 질소와 칼리, 칼리구는 질소와 인산 사용량을 100%로 고정하였다. 밑거름은 각 처리구 사용량에 대하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70% 해당량을 사용하였고, 웃거름은 6월 중순에 질소 25%, 7월 중하순에 질소 25%와 칼리 30% 해당량을 사용하였다.

토란 비료 이용효율 및 비료 회수율 비료 사용수준에 의한 토란의 비료 이용효율과 비료 회수율을 구하기 위하여 다음 식을 적용하였다 (Baligar et al., 2001). 비료 회수율을 구하기 위한 토란의 흡수량은 식물체의 질소, 인산, 칼륨 함량을 분석하고, 전체 건물중을 곱하여 산정하였다.

비료 이용효율 (Fertilizer use efficiency, kg kg⁻¹) = (비료 사용구의 수량 (kg) - 무비구의 수량 (kg)) / 비료 사용량 (kg)

비료 회수율 (Fertilizer recovery, %) = (비료 사용구의 흡수량 (kg) - 무비구의 흡수량 (kg)) / 비료 사용량 (kg) * 100

토양 및 식물체 분석 토양 및 식물체는 국립농업과학원의 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 분석하였다. 토성 분석은 비중계법 (Gee and Boudier, 1986)을 이용하였고, 토성분류기준은 미농무부법을 따랐다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 하여 pH, EC meter로 측정하였고, 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계 (Integra XL, GBC)로 분석하였다. 식물체는 건조 후 분쇄하여 시료 0.5 g에 진한 황산 1 mL와 50% 과염소산 10 mL를 가한 뒤 열판에 가열하여 분해하였다. T-N은 켈달 증류로 분석하였고, P₂O₅는 Vanadate 법, K₂O는 유도결합플라즈마 분광광도계로 분석하였다.

토란 괴경 조단백질 및 유리당 분석 토란 괴경의 조단백질 함량은 생체 1 g에 진한 황산 12 mL를 가한 뒤 열판에 분해하여 자동 단백질 분석기 (Kjeltec 2400 AUT, Foss Tecator)로 분석하였다. 유리당은 생체 5 g에 50% 에

Table 1. Soil physical and chemical properties before experiment.

Soil texture	pH	EC	SOM	Avail.P ₂ O ₅	Exch. cations		
					K	Ca	Mg
Silt loamy	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----		
	5.8	0.3	45	162	0.14	3.7	0.5

탄을 50 mL을 가한 뒤 80°C로 항온하여 원심분리한 후 HPLC (Shiseido Nanospace SI-2, Shiseido)로 분석하였다.

통계분석 연구결과에 대한 통계분석을 위해 R ver. 3.0.2을 이용하여 Duncan's multiple range test를 수행하였다.

Results and Discussion

비료 시용수준에 따른 토란 수량 질소, 인산, 칼리 시용수준에 따른 토란의 수량을 평가하기 위하여 토란의 가식부인 괴경의 수량을 조사하였다 (Fig. 1). 질소, 인산, 칼리 전체 처리구의 수량은 약 30~35 Mg ha⁻¹ 범위에 해당되었다. 각 처리구의 괴경 수량을 보면, 질소 90 kg ha⁻¹부터 360 kg ha⁻¹까지 수량이 약 33 Mg ha⁻¹으로 질소 시용량이 많아도 괴경의 수량은 거의 일정한 것으로 나타났으며, 인산은 150 kg ha⁻¹에서 가장 수량이 높았고, 칼리 또한 150 kg ha⁻¹에서 최고수량을 생산하였으나 300 kg ha⁻¹에서는 수량이 감소하였다. 지상부와 지하부를 합한 토란 전체 수

량에 대한 괴경의 비율을 보면, 질소 90 kg ha⁻¹부터 360 kg ha⁻¹ 시용했을 때 괴경의 수량 차이는 통계적인 유의성이 없었으나 전체에서 괴경의 비율은 질소 0~180 kg ha⁻¹를 시용했을 경우 감소하여 질소는 지상부의 생육에 관여하는 것으로 나타났다 (Table 2). Hartemink et al. (2000)에 의하면 질소 300 kg ha⁻¹을 시용했을 때 지상부에 비해 괴경의 수량 증가는 미미한 것으로 나타났으며, 대부분의 질소는 지상부로 이동하고, 지하부에서는 소량 이용된다고 하였다. 따라서 질소 시용량이 일정 수준 이상일 경우 괴경에 비해 지상부의 생육에 미치는 영향이 큰 것으로 판단되었다. 인산과 칼리 시용구는 질소 시용구와 달리 비료 시용량이 괴경의 비율에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

토란 비료이용효율 질소, 인산, 칼리 시용수준별 토란의 비료 이용효율과 비료 회수율을 Table 3에 제시하였다. 비료 이용효율은 비료 1 kg 당 생산된 작물의 수량 kg을 의미하는데, 질소 시용구에서는 비료 시용량이 많을수록 질소 이용효율이 낮은 것을 알 수 있었다. 비료로부터 토란이 흡수한 질소 비율인 질소 회수율 또한 비료 시용량이 많을수록 감소하였으며, 질소 회수율이 19.3~2.7% 범위로 나타났다. 이와 유사하게 Hartemink et al. (2000)은 토란의 질소 이용효율이 대체로 낮은 편이며 비료 회수율은 거의 10% 정도라고 하였다. 질소의 경우 시용량이 많아질수록 이용효율은 감소하지만 수확량은 증가하기 때문에 경제성을 고려할 필요가 있으며, 토란의 경우 괴경과 지상부 중 주로 수확할 부분을 결정하여 질소 시용량을 정하는 것이 적절하다고 판단된다. 인산 시용구의 경우 인산 이용효율은 인산 100 kg ha⁻¹을 시용했을 때 가장 높았으나 인산 회수율은 2.3~2.6% 정도로 낮게 나타났다. Hartemink and Johnston (1998)은 토란 수확기의 인산 흡수량은 질소의 30%, 칼리의 14% 수준이라고 하였으며, 본 연구에서도 인산 흡수량이 질소, 인산에 비해 상대적으로 낮기 때문에 인산 회수율 또한 질소, 칼리에 비해 미미한 것으로 판단된다. 칼리 시용구에서는 질소와 마찬가지로 칼리 시용량이 많을수록 칼리 이용효율이 낮아졌으며, 칼리 회수율은 150 kg ha⁻¹에서 가장 높았다. 특히 질소, 인산, 칼리 중 칼리 이용효율과 회수율이 가장 높았는데, 뿌리 작물은 주로 탄수화물을 합성하는데 칼륨이 중요한 역할을 하기 때문에 칼리 요구량이 높다는 선행 연구결과와 일치하였다 (Jansson, 1980).

비료 시용수준에 따른 괴경의 조단백질 및 유리당 함량 비료 시용량이 괴경의 품질에 영향을 미치지 않 아보기 위하여 조단백질 함량과 유리당 함량을 분석하였다 (Table 4) 조단백질 함량은 질소 180 kg ha⁻¹를 시용했을 때 가장 높았고, 질소 무비구보다 질소를 시용한 구에서 조단백질 함량이 높은 경향을 나타냈는데, Wang et al. (2008)

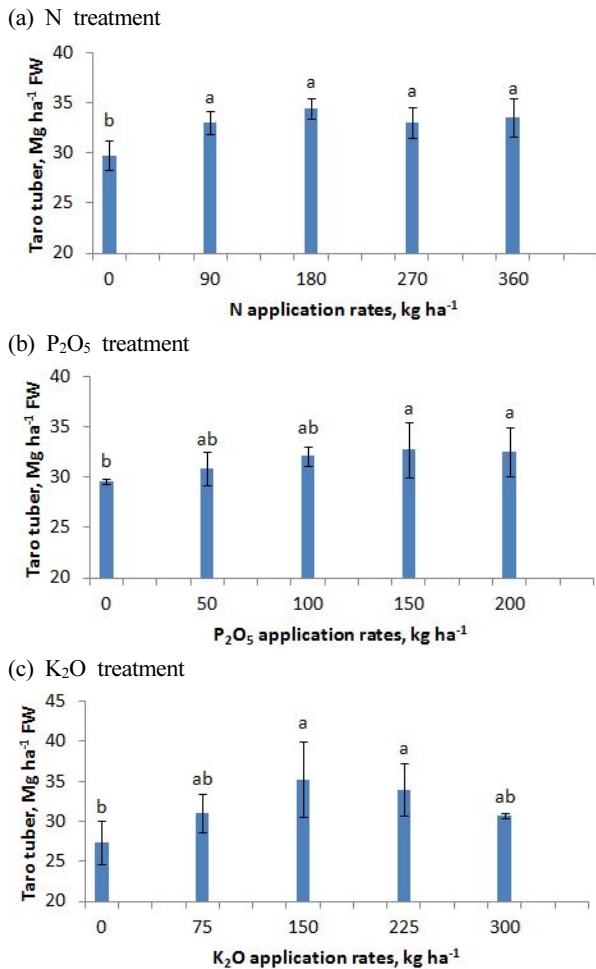


Fig. 1. Taro tuber yields (fresh weight) by NPK application rate ($p < 0.05$, DMRT).

Table 2. Ratio of tubers to total biomass (dry weight) by NPK application rate.

N Treatments		P ₂ O ₅ Treatments		K ₂ O Treatments	
N	Ratio [†]	P ₂ O ₅	Ratio	K ₂ O	Ratio
kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	%
0	86.8±1.7 ^{a‡}	0	82.8±3.0 ^{n.s.}	0	81.9±1.1 ^{n.s.}
90	82.3±2.2 ^{ab}	50	79.8±5.9	75	84.7±0.9
180	79.2±2.6 ^b	100	81.1±1.4	150	82.0±3.2
270	78.6±1.8 ^b	150	80.2±0.6	225	80.7±1.0
360	80.1±0.8 ^b	200	78.8±5.2	300	83.7±3.2

[†]Ratio(%) = (Tuber yield / Total yield) * 100

[‡]Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at $p < 0.05$ (DMRT).

Table 3. Fertilizer use efficiency and fertilizer recovery of Taro by NPK application rate.

N Treatments			P ₂ O ₅ Treatments			K ₂ O Treatments		
N	FUE [†]	FR [‡]	P ₂ O ₅	FUE	FR	K ₂ O	FUE	FR
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	kg ha ₁	kg ha ⁻¹	%	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%
90	10.9	19.3	50	9.8	2.4	75	13.8	42.7
180	7.8	9.8	100	12.3	2.6	150	11.4	66.5
270	4.7	6.4	150	7.9	2.4	225	6.9	33.1
360	3.0	2.7	200	6.5	2.3	300	3.1	15.5

[†]Fertilizer use efficiency, [‡]Fertilizer recovery.

Table 4. Crude protein content and free sugar composition of Taro tuber by N, P, K application rate.

Fertilizer application rate	Crude protein	Free sugar				
		Fructose	Glucose	Sucrose	Total sugar	
kg ha ⁻¹	% , fresh weight 100 g					
N	0	1.29 ^{c†}	0.29 ^b	0.08 ^c	0.18 ^{ab}	0.55 ^b
	90	1.74 ^b	0.30 ^b	0.14 ^b	0.51 ^a	0.95 ^a
	180	2.01 ^a	0.27 ^b	0.10 ^c	0.36 ^{ab}	0.73 ^{ab}
	270	1.94 ^a	0.33 ^a	0.14 ^b	0.17 ^{bc}	0.64 ^b
	360	1.88 ^{ab}	0.36 ^a	0.29 ^a	0.11 ^c	0.76 ^{ab}
P ₂ O ₅	0	1.31 ^e	0.31 ^{n.s.}	0.11 ^b	0.09 ^c	0.51 ^c
	50	1.53 ^d	0.32	0.20 ^a	0.09 ^c	0.62 ^d
	100	2.10 ^a	0.29	0.11 ^b	0.48 ^b	0.88 ^c
	150	1.93 ^b	0.34	0.09 ^c	0.65 ^a	1.07 ^a
	200	1.79 ^c	0.29	0.09 ^c	0.59 ^a	0.96 ^b
K ₂ O	0	1.43 ^b	0.26 ^b	0.06 ^c	0.32 ^a	0.64 ^{ab}
	75	1.46 ^b	0.25 ^b	0.07 ^c	0.27 ^b	0.59 ^b
	150	1.92 ^a	0.25 ^b	0.09 ^b	0.24 ^b	0.58 ^b
	225	1.35 ^b	0.24 ^b	0.12 ^a	0.32 ^a	0.68 ^a
	300	1.21 ^b	0.32 ^a	0.13 ^a	0.17 ^c	0.62 ^{ab}

[†]Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at $p < 0.05$ (DMRT).

는 질소가 단백질의 약 17% 정도 차지하는 필수원소로서 괴경의 단백질 함량과 관련된다고 하였으며, 위의 경우도 질소 시비에 의해 단백질 함량이 다소 증가한 것으로 판단된다. 인산이나 칼리 시용구는 각각 100 kg ha⁻¹와 150 kg

ha⁻¹을 시용했을 때 조단백질 함량이 가장 높게 나타났으나 그 이상 시비했을 때는 감소하였다. 총 유리당의 경우 질소 시용구는 90 kg ha⁻¹에서 가장 높았으나 그 이상 시비했을 때는 감소하였고, 칼리 시용구는 비료시용량에 따른 총 유리

당 함량 변화가 미미하였다. 감자의 경우 질소와 칼리 시비가 괴경 크기의 증가에 관여하기 때문에 희석효과에 의해 간접적으로 당 함량이 감소할 수 있다고 하였으며 (Westermann et al., 1994; Kunkel and Holstad, 1972), 토란 괴경도 크기에 따른 영향이 있을 것으로 판단된다. 인산 시용구에서는 sucrose 함량이 150 kg ha⁻¹부터 높게 나타났는데, 인산은 괴경에서 sucrose 대사에 관여한다 (Geigenberger et al., 1995) 라고 보고된 바 있어 인산 시비에 따라 토란 괴경의 sucrose 함량이 달라질 수 있음을 확인하였다.

Conclusions

토란 비료시용수준에 따른 수량과 비료이용효율, 괴경의 조단백질 및 유리당 함량을 분석하였다. 토란의 주요 가식 부인 괴경은 비료 시용량이 많을수록 수량이 증가하였으며, 질소의 경우 시용량이 증가할수록 지상부의 생육에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 토란의 비료이용효율은 비료 시용량이 증가할수록 감소하였으며, 칼리 처리구에서 비료 회수율이 가장 높았다. 괴경의 조단백질 함량은 기준 비료 시용량인 180-100-150 kg ha⁻¹에서 가장 높았으며, 인산은 괴경의 sucrose 함량 증가에 영향을 미쳤다.

References

- Baligar V.C., N.K. Fageria, and Z.L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant.* 32(7-8):921-950.
- Blamey, F.P.C. 1996. Correction of nutrient disorders of sweet potato and taro: Fertilizers and soil amendments. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra.
- de Geus. 1967. Fertilizer guide for tropical and subtropical farming. Centre d'Etude de l' Azote. Zurich.
- Eppendorfer, W.H. and B.O. Eggum. 1994. Dietary fibre, starch, amino acids and nutritive value of potatoes as affected by sulfur, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium and water stress. *Acta Agric. Scand. B. Soil Plant Sci.* 44:107-115.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis in methods of soil analysis, part 1. A. Klute(ed.). Monograph No. 9, ASA, Madison, WI.
- Geigenberger, P., K.P. Krause, L.M. Hill, R. Reimholz, and E. MacRae. 1995. The regulation of sucrose synthesis in leaves and tuber of potato plants. In *Sucrose Metabolism, Biochemistry, Physiology and Molecular Biology*, H Pontis eds, Rockville, MD:Am. Soc. Plant Physiol.
- Hartemink, A.E., M. Johnston, J.N. O'Sullivan, and S. Poloma. 2000. Nitrogen use efficiency of taro and sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agri. Ecosys. Environ.* 79:271-280.
- Hartemink A.E. and M. Johnston. 1998. Root biomass and nutrient uptake of taro in the lowlands of Papua New Guinea. *Trop. Agric.* 75(1):1-5.
- Jansson, S.L. 1980. Potassium requirements of root crops. *IPI Research Topic* 7:47-62.
- Kunkel, R. and N. Holstad. 1972. Potato chip color, specific gravity and fertilization of potatoes with N-P-K. *Am. Potato J.* 49:43-62.
- Hwang, I.G., B.R. Park, and S.M. Yoo. 2013. Quality characteristics of *Toranbyung* with different boiling periods and types of *Gomyeong*. *Korean J. Food and Nutri.* 25(4):985-989.
- Maga, J.A. 1992. Taro composition and food uses. *Food Rev. Int.* 5:443-473.
- Manrique, L.A. 1994. Nitrogen requirements of taro. *J. Plant Nutr.* 17:1429-1441.
- Matthews, P.J. 2010. An introduction to the history of taro as a food. *The Global Diversity of Taro*, 6.
- MFAFF. 2014. Agricultural and forestry statistical yearbook. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Korea.
- Moon, J.H., R. Kim, H.D. Choi, and Y.S. Kim. 2010. Nutrient composition and physicochemical properties of Korean taro flours according to cultivars. *Korean J. Food Sci. Technol.* 42(5):613-619.
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA. Korea.
- O'Sullivan, J.N., C.J. Asher, and F.P.C. Blamey. 1996. Diagnostic criteria for nutrient disorders of taro. Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra. 83-90.
- Silva, I.A., D. Sato, P.S. Leung, P.S. Sanlos, G. Santos, J. Kuniyoshi, and A.D. Ping-Sun-Leung. 1990. Response of Chinese taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott var. 'Bun Long') 10 nitrogen and potassium fertilization. *Hawaii Institute of Tropical Agriculture and Human Resources Research Extension.* 114:6-70.
- Wang, Z.H., S.X. Li, and S. Malhi. 2008. Effects of fertilization and other agronomic measures on nutritional quality of crops. *J. Sci. Food Agric.* 88(1):7-23.
- Westermann, D.T., D.W. James, T.A. Tindall, and R.L. Hurst. 1994. Nitrogen and potassium fertilization of potatoes: sugars and starch. *Am. Potato J.* 71(7): 433-453.