

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.427>  
 pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Estimation of Nutrient Balance in Field Crops Applied with Different Fertilization

Seok Cheol Kim, Myung Sook Kim, Seong Jin Park, Seong Heon Kim\*\*, and Chang Hoon Lee\*  
 Soil and Fertilizer Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

\*Corresponding author: [chlee915@korea.kr](mailto:chlee915@korea.kr)

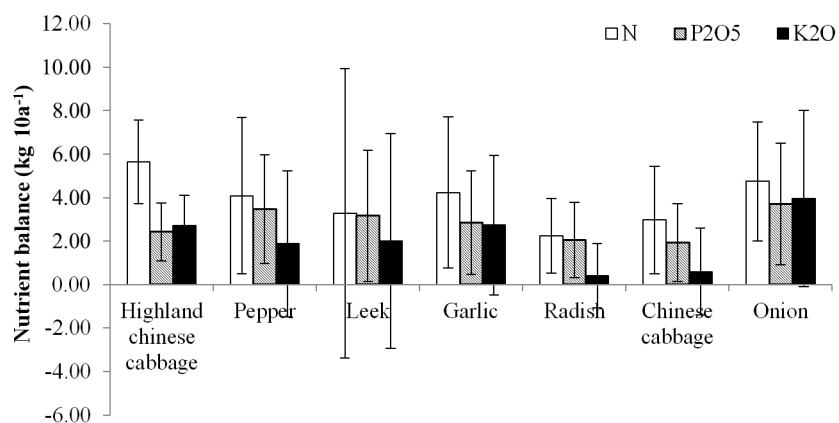
\*\*This author contributed equally to this works as corresponding authors.

### ABSTRACT

**Received:** August 24, 2018  
**Revised:** October 28, 2018  
**Accepted:** November 1, 2018

Korea is one of those countries that have very high usage rates of chemical fertilizers per unit area of cropland. To reduce the fertilizer application rate, a variety of agricultural policies has been introduced since the 1990s. The purpose of this study was conducted to find out the situation of fertilizer use on vegetable crops at 720 farmer's fields located in 9 province area. Organic fertilizer application rates increased in major field crops. Chemical fertilizer application rates decreased in most of the field crops and vegetables surveyed; however, this reduction was concentrated in phosphate and potassium usage but not in nitrogen. In spite of this decrease, the fertilizer application levels to most crops were maintained at levels much higher than recommended. In the nutrient balance, which was calculated from the difference between input (chemical and organic fertilizers) and output (agricultural products), the nitrogen surplus were higher than recommendation fertilizer application rate. To reduce fertilizer utilization and to conserve environment, further reduction of fertilizer application is essential.

**Keywords:** Field crop, Fertilization, Inorganic fertilizer, Organic fertilizer, Nutrient balance



Distribution of nutrient balance in upland soil with different fertilization.



## Introduction

비료는 식물에 영양을 주거나 식물의 재배를 돕기 위하여 토양에 사용하는 물질을 뜻하며 (RDA, 2017), 비료 중 화학비료는 저렴한 가격, 편리성 및 속효성 양분 공급 등의 장점으로 오랫동안 농경지에 사용되고 있다 (Lee et al., 2008). 그러나 농경지에 화학비료의 과다사용은 토양 중 양분의 불균형을 초래하고, 토양유기물을 낮춘다 (Lee et al., 2012). 또한 지속적인 화학비료 사용은 토양질을 퇴보시켜 지속적인 작물 생산에 영향을 미치기도 한다 (Nguyen et al., 1995).

1980년대 이후 고투입 집약농업에서 지속적 농업으로 전환하기 위해 양분종합관리 (integrated nutrient management, INM)가 도입되었고, 농경지의 합리적 시비관리로 화학비료 사용량을 개선시켰다 (Parris, 2011). 예를 들어, OECD 국가는 화학비료에 의한 농경지 양분손실을 약 17% 줄였으나, 농경지로부터 유출된 질소와 인이 주변수계의 수질에 각각 30-80% 및 20-70% 기여하였다 (Parris, 2011). 그러므로 농경지에 화학비료의 적정시비는 수질보전 등 농업환경 변동에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

농경지에 비료사용량은 변동되어 왔다. 예를 들어, 1997년 친환경농업육성법이 제정된 이후 무기질 비료에 대한 정부보조금 지원이 감소된 결과, 무기질 비료의 사용량은 2000년도 381.9 kg 10a<sup>-1</sup>에서 2010년 232.7 kg 10a<sup>-1</sup>로 29.1% 감소되었다 (Jeon et al., 2014). 그러나 농경지에 퇴비 및 유기질 비료 등의 과다사용은 염류집적 (Mer et al., 2000), 양분불균형 (Lee et al., 2009), 환원장애 (Ramolliya and Pendey, 2002) 등이 발생되고, 작물생산성 감소 (Cho and Park, 2002)와 더불어 유출양분에 의한 농업환경 부하량 증가에 원인이 되고 있는 실정이다 (Lee et al., 2010; Lee et al., 2011). 그러나 농경지 작물생산과 농업환경에 대한 영향은 농경지에 사용되는 비료량과 밀접한 관계를 있으며, 이를 평가하기 위한 경종농가의 비료사용 현황이 필요하다.

비료사용 실태 조사는 비료사용량을 직접·간접 방법을 통하여 실제 농경지에 시비된 비료를 조사하고, 이를 통해 작물생산과 농업환경의 변화 양상을 평가 및 비료 사용의 문제점을 파악하는데 있다 (RDA, 2017). 기존 연구에 따르면, 고랭지 작물 (Lee et al., 2006) 및 밀 재배를 위한 시비 (Kim et al., 2016), 화학비료 사용실태 (Gil, 2000) 등 특정 작물 또는 단일 화학비료 조사가 주를 이루고 있었다. 따라서 본 연구는 밭 작물에 대한 비료사용 실태를 조사하고자 하였다. 이를 위한 대표적인 밭 작물 7종을 선정하여 전국 700 개소의 농가에서 비료사용량, 비료종류, 생산성을 자료를 사용하였다. 이상의 결과를 이용하여 밭 작물 비료사용에 따른 양분수지 분포특성을 평가하여 농경지로부터 유출되는 양분의 변동을 평가하는 기초자료를 제공하고자 하였다.

## Materials and Methods

**조사대상** 조사지역 및 대상은 각 도별로 재배 면적이 가장 많은 노지 작물을 선정하여 경기 (고추 25개소, 및 배추 25개소), 강원 (고랭지배추 50개소 및 무 25개소), 충북 (고추 25개소, 배추 25개소 및 마늘 50개소), 충남 (고추 20개소, 마늘 2개소 및 파 20개소), 전북 (고추 20개소, 배추 20개소, 무 20개소 및 파 20개소), 전남 (배추 20개소, 마늘 20개소, 파 40개소 및 양파 20개소), 경북 (고추 20개소, 배추 20개소, 마늘 20개소 및 양파 20개소), 경남 (고추 20개소, 배추 20개소, 마늘 30개소 및 양파 30개소) 및 제주 (무 20개소, 마늘 35개소 및 양파 20개소)로 9개도에 각각 720 농가를 선정하였다.

**조사방법 및 내용** 조사방법은 각 도별 농업기술원에서 선정된 농가에 직접 방문하여 면접 청취조사를 원칙으로 하였다. 조사내용은 작물 종류에 따른 비료투입량, 비료종류 (무기질 비료, 유기질 비료, 퇴비 등)에 따른 성분량, 비료사용방법 및 생산량을 조사하였다.

**Data 분석** 조사한 data를 활용하여 국내 밭작물의 총 비료 투입량을 도출하였으며, 무기질 비료 및 부속 유기질 비료의 투입량과 투입비율을 도출하였다. 작물 생산량은 조사된 고랭지 배추 (n=31), 고추 (n=112), 대파 (n=58), 마늘 (n=153), 무 (n=28), 배추 (n=121) 및 양파 (n=84)의 결과값을 이용하였다. 작물종류에 따른 양분흡수량은 Kim et al. (2003)의 밭작물 종류별 양분량 결과를 참고하여 사용하였으며, 작물 생산량과 양분량을 이용해 작물별 양분흡수량을 계산하였다. 그 후 작물 종류에 따른 비료 총 투입량 (input)에서 양분흡수량 (output)을 차감하여 이용해 양분수지를 산정하였다.

### 통계분석

모든 데이터는 ANOVA 분석을 실시하였고, 각 구간에 평균비교는 유의수준 5%로 Duncan분석을 하였다.

## Results and Discussion

**비료 투입 현황** Fig. 1의 경우 현재 시비되고 있는 총 투입량을 나타낸 결과로 Fig. 1은 국내 실제 비료의 총 투입량을 나타낸 결과로 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O의 투입량은 각각 최대 28.65, 20.78 및 22.82 kg 10a<sup>-1</sup>이었으며 평균 5.40±3.09, 3.50±2.54 및 3.61±2.92 kg 10a<sup>-1</sup>로 나타났다. 결과를 통해 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O의 투입량이 평균 1.29, 2.27 및 2.59 kg 10a<sup>-1</sup>로 과다 시비되고 있는 것을 확인하였으며 이 결과는 평균값이지만 실제 더 많이 과다 투입되고 있는 것으로 확인되었다. Park et al. (1994)에 따르면 1960년 후반부터 시비효율이 낮은 우리나라의 토양 비옥도를 높이기 위해 자급비료 등의 사용을 권장하였으며, 통일벼와 같은 비료 요구도가 높은 작물로 인해 과잉시비를 권장하였다고 보고하고 있다. 이러한 과잉시비의 경우 1990년 이후 표준 시비량 하향조정 (RDA, 1993)과 벼를 포함한 밭작물 및 시설채소 24종에 대한 표준시비량 설정 또는 새로운 시비량 설정 (RDA, 1998)등 개선을 위해 노력하고 있으나 과잉시비의 습관 때문에 아직까지 농가에서는 과다 투입을 하고 있다고 알려져 있다 (Choi et al., 2009).

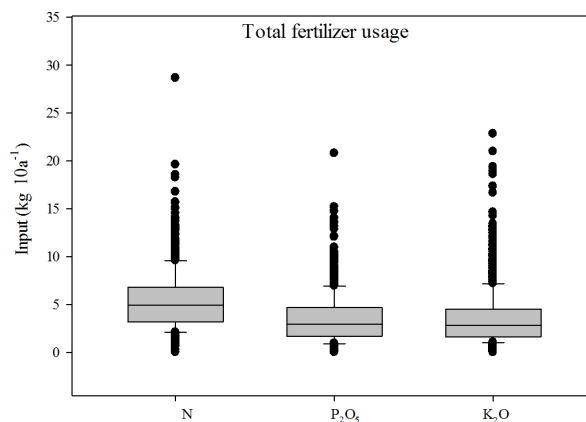
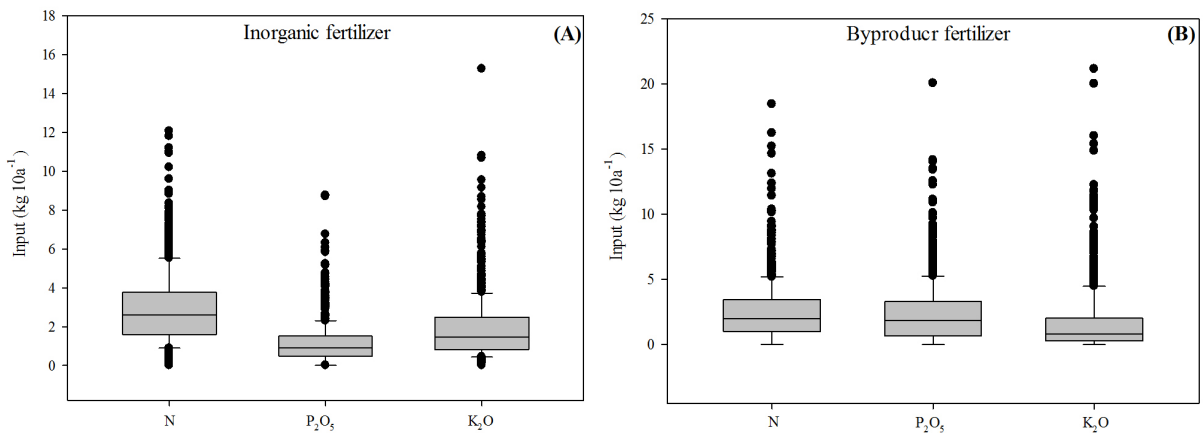


Fig. 1. Distributions of gross nutrient input in upland soil for field crops.

Fig. 1에서의 총 투입량을 비료 종류에 따라 분류해본 결과는 Fig. 2와 같다. 무기질 비료, 유기질 비료 및 퇴비로 나누어 확인한 결과 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O의 최대값은 비료 종류에 따라 무기질 비료는 12.06, 8.76 및 15.27 kg 10a<sup>-1</sup>, 유기질 비료는 18.45, 9.00, 5.25 kg 10a<sup>-1</sup>였으며 퇴비는 16.23, 18.33 및 21.00 kg 10a<sup>-1</sup>으로 확인되었다. 비료 종류에 따른 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O의 평균 투입량은 무기질 비료 2.92±1.89, 1.14±1.05 및 1.88±1.62 kg 10a<sup>-1</sup>, 유기질 비료는 0.90±1.27, 0.51±0.82 kg 10a<sup>-1</sup> 및 0.32±0.52 kg 10a<sup>-1</sup>, 퇴비는 2.37±2.18, 2.54±2.41 및 1.89±2.63 kg 10a<sup>-1</sup>로 확인되었다. 본 결과를 통해 실제 농가의 시비되는 비료 종류에 따라 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O에 기여하는 비율을 확인할 수 있었다. N의 경우 무기질 비료가 47.2%로 가장 높은 비중을 차지하고 있었으며 퇴비 38.3%, 유기질 비료 14.5%순이었다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 경우 퇴비 (60.6%) > 무기질 비료 (27.2%) > 유기질 비료 (12.2%)로 퇴비가 가장 많은 비율을 차지하고 있었고, K<sub>2</sub>O는 퇴비 (46.2%) ≍ 무기질 비료 (46.0%) > 유기질 비료 (7.8%)로 퇴비와 무기질 비료가 가장 많은 비율을 차지하고 있었다.



**Fig. 2.** Distributions of gross nutrient input by inorganic and organic fertilizer application in upland soil for field crops.

Table 1은 무기질 비료와 부숙 유기질 비료의 투입량을 이용하여 산정한 I/O ratio 결과이다. 작물 종류에 따라 질소의 I/O ratio는 0.54-1.83으로 나타났으며, 최저값 0.54는 고랭지 배추 재배지였고 1.75는 고추 재배지였다. 이를 통해 N 시비의 경우 고랭지 배추는 다른 작물에 비해 무기질 비료에 대한 의존도가 높다고 보여진다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O는 최소 값이 각각 1.67 (배추) 및 0.11 (고랭지 배추)였으며 최대값은 각각 4.86 (고추) 및 2.49 (대파)인 것을 확인하였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>는 무기질 비료보다 유기질 비료에 의한 비율이 높았으며 K<sub>2</sub>O의 경우 고랭지 배추를 제외하고 유기질 비료의 비율이 높은 것으로 확인되었다. 고랭지 배추의 무기질 비료 및 유기질 비료의 투입량이 많은 이유는 Lee et al. (2006)의 연구결과 고랭지 농가에서는 적정량 이상의 부산물 비료를 사용하면서도 복합비료를 다량으로 사용하며 배추는 질소의 경우 1.4-1.6배, 인산의 경우는 4.6-8.3배 가량 사용한다고 보고하고 있다. 또한 Joo and Lee (2011)의 연구결과 경사도 5%에서는 T-N의 유출이 11.1 kg 10a<sup>-1</sup>이었으며, 경사도 20 및 35%에서는 각각 2.92 및 4.17 kg 10a<sup>-1</sup>이 유실된다고 보고하고 있다. 이러한 경사도에 의한 유실 때문에 경작 농가에서는 고랭지 농업에서 비료를 과량으로 사용한다고 판단된다.

**Table 1.** Organic fertilizer/ Inorganic fertilizer ratio of vegetable crops at upland fields.

|                               |      | Highland cabbage | Pepper | Leek  | Garlic | Radish | Chinese cabbage | Onion |
|-------------------------------|------|------------------|--------|-------|--------|--------|-----------------|-------|
| N                             | Max  | 1.57             | 18.77  | 11.58 | 12.54  | 11.62  | 37.45           | 1.74  |
|                               | Med  | 0.49             | 1.14   | 0.89  | 0.83   | 0.70   | 0.46            | 0.71  |
|                               | Min  | 0.08             | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00            | 0.00  |
|                               | Mean | 0.54             | 1.75   | 1.27  | 1.47   | 1.09   | 0.74            | 0.92  |
|                               | SD   | 0.30             | 2.25   | 1.46  | 1.82   | 1.81   | 0.98            | 0.91  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Max  | 5.66             | 45.91  | 25.83 | 79.50  | 26.35  | 205.47          | 96.43 |
|                               | Med  | 1.49             | 2.74   | 2.06  | 1.11   | 1.00   | 0.77            | 1.87  |
|                               | Min  | 0.28             | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00            | 0.00  |
|                               | Mean | 1.74             | 4.86   | 3.64  | 2.65   | 2.19   | 1.67            | 3.71  |
|                               | SD   | 1.41             | 7.20   | 4.59  | 6.48   | 3.84   | 2.33            | 9.72  |
| K <sub>2</sub> O              | Max  | 0.43             | 17.25  | 28.33 | 17.25  | 19.76  | 28.33           | 21.85 |
|                               | Med  | 0.08             | 0.80   | 1.47  | 0.63   | 0.15   | 0.50            | 1.01  |
|                               | Min  | 0.01             | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.00            | 0.00  |
|                               | Mean | 0.11             | 1.80   | 2.49  | 1.81   | 0.74   | 1.45            | 2.41  |
|                               | SD   | 0.09             | 2.57   | 3.74  | 2.93   | 2.50   | 2.81            | 3.74  |

비료의 사용 조합 방법의 경우 가지, 고추, 대파, 무, 배추, 생강, 양배추 및 양파의 경우 무기질 비료와 퇴비를 혼용하여 사용하는 농가가 대부분이었으며 유기질 비료의 사용은 무기질 비료 및 퇴비에 비해 미량을 사용하는 것을 확인하였다. 반면에 고랭지배추와 마늘 재배의 경우 무기질 비료 및 퇴비뿐만 아니라 유기질 비료의 사용도 무기질 비료 및 퇴비와 비슷한 수준으로 시비한다는 것을 확인하였다. 작물 종류에 따라 확인한 결과 고랭지 배추 재배가 유기질 비료보다 무기질 비료에 대한 비율이 다른 작물에 비해 높은 것으로 확인되었으며 의존이 높다고 판단된다.

**작물 종류에 따른 비료 투입량** 작물 종류에 따른 비료 투입량은 Table 2와 같다. 각 작물에 따라 비료 투입량을 작물에 따라 항목별로 확인한 결과 N 평균 투입량은 고랭지 배추가 6.56 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 무가 3.56 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 낮은 수치를 보였다. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 투입량은 양파가 4.07 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 배추가 2.48 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 낮은 수치를 보였다. K<sub>2</sub>O 투입량은 고추가 4.32 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높았으며 마늘이 1.96 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 낮은 결과를 보였다. 그러나 평균값이 아닌 작물 종류에 따른 투입량의 최대값을 확인하였을 때 고추가 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O의 값이 28.65, 14.73 및 22.8 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 작물 종류별에 있어서 고추의 경우 과잉으로 비료가 투입되고 있는 곳이 많다고 판단되어진다.

**작물 종류별 양분수지 예측** Table 3은 작물 종류에 따른 총 투입량과 작물의 양분흡수량 및 작물의 생산량을 이용해 양분수지를 계산하였다. N에서는 배추가 5.46 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높은 수치를 보여주고 있으며, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O에서는 양파가 3.71 및 3.96 kg 10a<sup>-1</sup>로 가장 높았다. 작물 전체적으로 현재 N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 K<sub>2</sub>O가 평균 3.89±1.15, 2.80±0.69 및 2.04±1.25 kg 10a<sup>-1</sup>이 과다 시비되어 초과양분이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 적절한 비료 및 퇴비의 시비는 토양의 물리성 및 화학성을 증대시킴으로써 작물의 안정적인 생산을 위해 필수적이지만 (Made et al.,

2002; Yun et al., 2009; Choi et al., 2010; Diacono and Montermuro, 2010; Lim et al., 2011), 과도한 양분이 지속적으로 공급될 경우 작물의 생육장애를 초래할 뿐만 아니라 (Cho and Park, 2002) 축적된 양분이 강우 등에 의해 수계로 유입될 경우 1차 및 2차 오염을 유발할 수도 있다 (Lee et al., 2011). 토양의 토성 및 경작지의 환경특성에 따라 비료의 투입량이 다르므로 직접적으로 추후 경작지의 토양 및 경작 환경 조사를 통해 안정적인 작물 생산량과 실제 농가의 환경을 고려한 적정 비료 사용량을 위해 토양 및 농업환경 실태조사가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

**Table 2.** Fertilizer usage of vegetable crops at upland fields.

(Unit : kg 10a<sup>-1</sup>)

|                               |      | Highland<br>Chinese<br>cabbage | Pepper | Leek  | Garlic | Radish | Chinese<br>cabbage | Onion |
|-------------------------------|------|--------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------------------|-------|
| N                             | Max  | 13.29                          | 28.65  | 15.63 | 19.60  | 9.36   | 11.74              | 137.0 |
|                               | Med  | 5.88                           | 4.03   | 5.79  | 5.08   | 3.56   | 4.36               | 5.66  |
|                               | Min  | 3.32                           | 0.24   | 1.26  | 0.72   | 0.99   | 0.0                | 0.85  |
|                               | Mean | 6.56                           | 4.67   | 6.09  | 5.84   | 3.56   | 4.57               | 5.80  |
|                               | SD   | 2.06                           | 3.55   | 2.99  | 3.34   | 1.75   | 2.53               | 2.74  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Max  | 7.17                           | 14.73  | 15.18 | 13.50  | 6.98   | 7.93               | 13.64 |
|                               | Med  | 2.65                           | 3.18   | 3.47  | 2.78   | 2.50   | 2.24               | 3.42  |
|                               | Min  | 0.90                           | 0.33   | 0.06  | 0.0    | 4.8    | 0.0                | 0.0   |
|                               | Mean | 2.95                           | 3.65   | 3.83  | 3.59   | 2.50   | 2.48               | 4.07  |
|                               | SD   | 1.57                           | 2.49   | 2.49  | 2.59   | 1.47   | 1.81               | 2.67  |
| K <sub>2</sub> O              | Max  | 7.85                           | 22.82  | 17.33 | 19.36  | 6.42   | 11.58              | 20.97 |
|                               | Med  | 3.43                           | 2.10   | 3.51  | 2.98   | 1.96   | 2.07               | 3.91  |
|                               | Min  | 1.83                           | 0.16   | 0.42  | 0.21   | 0.54   | 0.0                | 0.30  |
|                               | Mean | 3.78                           | 3.06   | 4.32  | 4.02   | 1.96   | 2.72               | 4.87  |
|                               | SD   | 1.29                           | 3.20   | 2.97  | 3.14   | 1.20   | 2.05               | 3.83  |

**Table 3.** Nutrient balances of vegetable crops at upland fields.

(Unit : kg 10a<sup>-1</sup>)

|                     |                               | Highland<br>Chinese<br>cabbage | Pepper    | Leek      | Garlic    | Radish    | Chinese<br>cabbage | Onion     |
|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|
| Input               | N                             | 6.50±1.82                      | 4.67±3.55 | 5.80±3.01 | 5.62±3.38 | 3.09±1.76 | 4.50±2.58          | 5.61±2.92 |
|                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 2.70±1.33                      | 3.65±2.49 | 4.00±2.70 | 3.32±2.44 | 2.38±1.77 | 2.44±1.84          | 4.08±2.89 |
|                     | K <sub>2</sub> O              | 3.87±1.12                      | 3.06±3.20 | 3.68±2.38 | 3.79±3.13 | 2.12±1.46 | 2.61±2.02          | 4.93±4.22 |
| Output              | N                             | 0.86±0.24                      | 0.58±0.34 | 2.52±6.39 | 1.39±0.86 | 0.85±0.24 | 1.15±0.40          | 0.86±0.54 |
|                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 0.29±0.08                      | 0.18±0.10 | 0.84±2.13 | 0.47±0.29 | 0.33±0.09 | 0.50±0.13          | 0.38±0.24 |
|                     | K <sub>2</sub> O              | 1.14±0.32                      | 1.18±0.70 | 1.68±4.26 | 1.06±0.65 | 1.70±0.47 | 2.02±0.54          | 0.97±0.61 |
| Nutrient<br>balance | N                             | 5.64±1.93                      | 4.09±3.60 | 3.28±6.65 | 4.23±3.48 | 2.24±1.72 | 2.98±2.47          | 4.75±2.73 |
|                     | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 2.42±1.34                      | 3.48±2.51 | 3.16±3.02 | 2.85±2.39 | 2.05±1.74 | 1.93±1.79*         | 3.71±2.80 |
|                     | K <sub>2</sub> O              | 2.72±1.39                      | 1.88±3.36 | 2.00±4.93 | 2.74±3.21 | 0.41±1.49 | 0.59±2.00          | 3.96±4.05 |



## Conclusions

본 연구는 각 도별 재배 면적이 가장 많은 노지작물을 선정하고 작물 종류 및 비료 종류에 따른 비료 투입량을 조사하여 국내 밭작물의 총 투입량을 확인하고 물질수지를 통해 과잉 시비되는 양분의 양을 알아보고자 하였다. 국내 밭작물의 비료 총 투입량은 평균  $5.40 \pm 3.09$ ,  $3.50 \pm 2.54$  및  $3.61 \pm 2.92 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 나타났으며, 비료 종류에 따른 N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  및  $\text{K}_2\text{O}$ 의 평균 투입량은 무기질 비료  $2.92 \pm 1.89$ ,  $1.14 \pm 1.05$  및  $1.88 \pm 1.62 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 유기질 비료는  $0.90 \pm 1.27$ ,  $0.51 \pm 0.82 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$  및  $0.32 \pm 0.52 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 퇴비는  $2.37 \pm 2.18$ ,  $2.54 \pm 2.41$  및  $1.89 \pm 2.63 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 확인되었다.

무기질 비료와 부속 유기질 비료의 투입량을 이용하여 산정한 I/O ratio 결과 질소는 고랭지 배추가 0.54로 가장 낮았으며, 고추가 1.75로 가장 높은 수치를 보였다.  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 배추가 1.67로 가장 낮았으며 고추가 4.86으로 가장 높았고  $\text{K}_2\text{O}$ 의 경우 고랭지 배추가 1.67로 최소값이었으며 대파가 2.49로 최대값을 나타내었다.

작물 종류에 따른 총 투입량과 작물의 양분 흡수량 및 작물의 생산량을 이용해 양분 수지를 계산한 결과 N에서는 배추가  $5.46 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 가장 높은 수치를 보여주고 있으며,  $\text{P}_2\text{O}_5$  및  $\text{K}_2\text{O}$ 에서는 양파가 3.71 및  $3.96 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 으로 가장 높았다. 작물 전체적으로 현재 N,  $\text{P}_2\text{O}_5$  및  $\text{K}_2\text{O}$ 가 평균  $3.89 \pm 1.15$ ,  $2.80 \pm 0.69$  및  $2.04 \pm 1.25 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이 과다 시비되어 초과양분이 발생하고 있는 것으로 판단된다. 토양의 토성 및 경작지의 환경특성에 따라 비료의 투입량이 다르므로 직접적으로 경작지의 토양 및 경작 환경 조사를 통해 안정적인 작물 생산량과 실제 농가의 환경을 고려한 적정 비료 사용량을 농가에 교육하고 초과되는 양분의 환경문제를 야기시키며 작물 생육에 장애를 일으킬 수 있다는 경각심을 일깨워 줄 필요가 있을 것이라 판단된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “PJ0125052018” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Cho, S.H. and T.H. Park. 2002. Effect of organic fertilizer, microorganism and seaweed extract application on growth of Chinese cabbage. *J. KOWREC*. 10(4):81-85.
- Choi, H.S., L. Xiong, W.S. Kim, K.J. Choi, Y. Lee, and S.K. Jung. 2010. Soil characteristics and leaf and bud developments with different organic fertilizers in a pear orchard. *Korean J. Org. Agric.* 18(3):363-375.
- Choi, Y.J., G.M. Gim, J.Y. Lee, K.H. Kang, and S.G. Yun. 2009. An analysis of purchasing and using fertilizer by farmers. *Korean Assoc. Agric. Extension*. 16(4):687-711
- Diacono, M. and F. Montemurro. 2012. Long term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Argon. Sustain. Dev.* 30:401-422.
- Gil, S.G. 2000. Reduction of chemical fertilizer use for environmental friendly agriculture. *Soil Fertilizer*. 4:29-35.
- Jeon, B.J., S.S. Lim, K.S. Lee, S.I. Lee, J.H. Ham, S.H. Yoo, K.S. Yoon, and W.J. Choi. 2014. Understanding spatial variations of water quality using agricultural nutrient indices in Chonnam province. *Korean J. Environ. Agric.* 33(1):44-51.
- Joo, J.H. and S.B. Lee. 2011. Assessment of nutrient losses in different slope highland soils amended with livestock manure compost. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3):361-367.

- Kim, J.G., Y.H. Park, M.W. Park, B.R. Sung, and Y.G. Kang. 2016. Soil properties of wheat cultivation fields and fertilizer use status by farmers. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 28(2):186-196.
- Kim, S.C., Y.H. Park, Y. Lee, J.Y. Lee, C.H. Kim, and P.J. Kim. 2003. Comparison of farm based fertilizer usage in 1992 and 1999. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36(5):344-355.
- Lee, C.H., C.O. Hong, S.Y. Kim, Thomas Schumacher, and P.J. Kim. 2011. Reduction of phosphorus release by liming from temporary flooded rice rotational system in greenhouse upland soil. *Ecol. Eng.* 37(8): 1239-1243.
- Lee, C.S., G.J. Lee, J.T. Lee, K.Y. Shin, J.H. Ahn, and H.J. Cho. 2002. Status of fertilizer applications in farmer's field for summer Chinese cabbage in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 35(5):306-313.
- Lee, I.B., S.B. Kang, and J.M. Park. 2008. Effect of soil incorporation of gramiaceous and leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances. *Korean J. Environ. Agric.* 27(4):343-348.
- Lee, J.T., G.J. Lee, Y.S. Zhang, S.W. Hwang, S.J. Im, C.B. Kim, and Y.H. Mun. 2006. Status of fertilizer application and soil management for major vegetable crops in farmers' fields of alpine area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(6):357-365.
- Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean J. Environ. Agric.* 28(4):397-402.
- Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2010. Evaluation of phosphorus release potential in arable land with different land use by phosphorus threshold. *Korean J. Environ. Agric.* 29(4):343-347.
- Lim, T.J., J.M. Park, S.E. Lee, H.C. Jung, S.H. Jeon, and S.D. Hong. 2011. Optimal application rate of mixed expeller cake and rice straw and impacts on physical properties of soil in organic cultivation of tomato. *Korean J. Environ. Agric.* 30:105-110.
- Mader, P., A.F. Bach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried, and U. Niggli. 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science.* 296:1694-1697.
- Mer, R.K., P.K. Prajith, D.M. Pandya, and A.N. Pandey. 2000. Effect of salts on germination of seeds and growth of young plants of *Hordeum vulgare*, *Triticum aestivum*, and *Brassica juncea*. *J. Agron. Crop Sci.* 185(4):209-217.
- NACF. 2006. Statistical yearbook for fertilizer operation. Fertilizer No2-10. P. 68. National Agricultural Cooperative Federation, Seoul, Korea.
- Nguyen, M.L., R.J. Haynes, and K.M. Goh. 1995. Nutrient budgets and status in three pairs of conventional and alternative mixed cropping farms in Canterbury, New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 52:149-162.
- Park, B.G., T.H. Jeon, Y.H. Kim, and Q.S. Ho. 1994. Status of farmer's application rates of chemical fertilizer and farm manure for major crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27(3):238-246.
- Parris, K. 2011. Impact of agriculture on water pollution in OECD countries: recent trends and future prospects. *Int. J. Water Resour. Dev.* 27:33-52.
- Ramoliya, P.J. and A.N. Pandey. 2002. Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). *J. Arid Environ.* 51:121-132.
- RDA (Rural Development Administration). 1993. Revised rates of NPK fertilizers based on soil testing for vegetable crops. 1992 result of agricultural science and technology development selected for national agricultural policy, 285-288.
- RDA (Rural Development Administration). 1998. Adjustment of current fertilizer application rates for major crops and establishment of new fertilizer application rates for vegetable crops in greenhouse soil. 1997 result of agricultural science and technology development selected for national agricultural policy.
- RDA (Rural Development Administration). 2017. Fertilizer Regulation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Yun, H.B., W.K. Park, S.M. Lee, S.C. Kim, and Y.B. Lee. 2009. Nitrogen uptake by Chinese cabbage and soil chemical properties as affected by successive application of chicken manure compost. *Korean J. Environ. Agric.* 28:9-14.