Optimal Levels for Nutrient Diagnosis of Crops and On-Site Application: Dry- or Water Soluble-Based Leaf Analysis

Ye-Jin Lee, Seul-Bi Lee, and Jwakyung Sung^{1*}

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

¹Department of Crop Science, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea

*Corresponding author: jksung73@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Received: September 27, 2019

Revised: October 18, 2019

Accepted: October 23, 2019

It is one of most important works to recognize the nutritional status of crops for promoting best nutrient management. Furthermore, a rapid and accurate diagnosis of mineral nutrients is strongly required at agricultural on-site. Here, we described the optimal range for favorable crop growth and development based on the results of previous researches performed since 1990 in NAS, RDA, and focused on explaining analytical method and optimal range of water soluble-based N, P and K for greenhouse crops. Water soluble mineral N, P and K differently responded with leaf position and crop; overall, soluble N was higher in fully expanded leaves, soluble P was relatively higher young leaves and soluble K constantly remained in all leaves. Given the results, water soluble mineral nutrients of greenhouse crops showed relatively higher in *Solanaceae* (e.g. paprika and eggplant) than in *Cucurbitaceae* (e.g. cucumber and watermelon). In this respect, the nutrient management in terms of fertilization and crop uptake is necessary to make crop-specific strategy. Although the criteria for nutrient diagnosis based on water soluble extracts was described in this paper, we carefully suggest that better criteria for nutrient diagnosis should be advanced with consideration for diurnal pattern of water soluble minerals, difference in sample destruction degree, duration of storage of samples taken, and etc.

Keywords: Mineral nutrients, Diagnosis, Crop, Dry weight, Water soluble

Relative Classification by the concentration of mineral nutrients of crops.

Analysis	Cultivation	Concentration	Crops
Dry weight-based	Upland	Moderate ~ High	Potato, Pepper, Water melon, Spinach, Radish
		Low ~ Moderate	Sweet potato, Cabbage, Leek, Garlic, Onion, Carrot
	Greenhouse	Moderate ~ High	Pepper, Water melon, Oriental melon, Lettuce, Young radish
		Low ~ Moderate	Cucumber, Tomato, Cherry tomato, Strawberry, Green pumpkin, Cabbage, Kale, Radish
Water soluble-based	Greenhouse	Moderate ~ High	Paprika, Eggplant, Green pumpkin, Pepper
		Low ~ Moderate	Tomato, Strawberry, Cucumber, Watermelon, Melon

Introduction

우리나라의 시설재배면적은 새로운 재배기술의 도입, 재배작물의 다양화 및 소비 수요의 증가에 힘입어 1990년 약 40천 ha에서 90천 ha (2000)로 2배 이상 급격히 증가하였다가 서서히 감소하여 2016년 기준으로 약 61천 ha에 이르고 있다 (MAFRA statistics, 2016). 또한 시설재배작물 중 오이, 수박, 토마토 등 과채류의 재배면적은 전체의 약 70%에 달하는 것으로 보고되고 있다. 시설하우스와 가온시설 설치를 통해 대부분의 시설작물 재배유형은 축성, 반축성 및 보통재배의 형태로 다양화 되었으며, 이는 작물 생산성을 크게 향상시켰지만 과도한 양분의 투입 등 고투입농법의 확산으로 염류집적, 연작장해 등 많은 문제점을 초래하였다.

앞서 설명한 바와 같이, 시설재배는 비가림을 통한 공기유통의 차단, 난방 및 작물재배기간의 다양화로부터 요구되는 고도의 관리기술이 필요하다 (Hong et al., 1996; Ko, 2001; Jang, 2004). 또한 양분관리 측면에서도 2000년 이전에는 밑거름을 공급하고 재배과정 중 2-3의 웃거름을 공급하였으나, 양분의 효율적인 이용을 위해 비료를 물에 녹여 필요한 시기에 필요한 양을 공급하는 관비기술이 급속도로 발전하여 (Jeong, 2001; Park and Hong, 2001; Nam, 2002; Jung et al., 2005; Jung et al., 2010; Ha et al., 2015; Sung et al., 2016; Lee et al., 2018) 우리나라 시설재배농가의 약 58%가 관비 (점적, 지중관개 등) 방식으로 양분을 공급하고 있다 (MAFRA statistics, 2016).

우리나라의 식물영양연구는 1967년부터 농촌진흥청 식물환경연구소 (구 국립농업과학원) 식물영양과의 신설과 함께 시작되었다. 1990년대부터 원예작물의 적정 양분함량에 관한 연구가 본격적으로 이루어져 상추, 토마토, 오이 등 시설채소작물에 대한 엽위별 적정범위 및 결핍농도의 설정과 영농현장에서 영양장애로 추정되는 작물들에 대한 무기성분 분석 등으로 수행되었다 (Ryu, 1982; NIAST, 1990 ~ 2004; Jang et al., 2004; Lee et al., 2007; Lee et al., 2008; Jang et al., 2009; Lee et al., 2011; NAS 2017). 또한 영농현장에서 토양 중 질산태 질소를 추출하여 분석하는 생토용적침출법 또는 porous cup을 이용한 토양용액 침출법 등의 정확성과 효율성에 대한 평가가 수행되었으나 (Hong and Park, 2000; Hayashi, 1990; Roppongi, 1998; Roppongi and Yamazaki, 1998), 토양과 작물 중 양분의 과부족을 신속하게 진단하기에는 어려움이 있다. Compact ion meter, NO₃ ion meter 및 NO₃ test strip 법을 이용하여 수용성 질산태 질소를 현장에서 신속하게 분석하고 영양상태를 진단할 수 있는 방법들이 연구되었으나 (Hong and Park, 2000; Lim et al., 2001), 현장 지도직 공무원 또는 농민이 활용할 수 있는 주요 작물의 수용성 양분의 농도 기준과 분석법 설정에 대한 국내 연구는 부족한 상황이다.

따라서, 본 연구는 시설재배작물의 영양상태를 진단하는 여러 방법 중 식물체 분석 (잎의 무기성분함량)을 수행한 국내 연구결과를 바탕으로, 작물별 적정 양분함량 (건조, 수용성)의 범위를 제시하고 이를 활용하여 영농현장에서 발생하는 영양상태의 신속한 진단과 처방을 위한 지도분야에 활용될 수 있는 정보를 제공하고자 한다.

Materials and Methods

Leaf analysis (Dry weigh-based nutrient concentration) 농촌진흥청 국립농업과학원에서는 지난 2000년대 초반부터 노지 또는 시설하우스에서 재배되는 주요 작물에 대하여 작물별 주산단지를 중심으로 작물의 최적 생육을 위한 적정 무기성분 함량의 범위를 설정하기 위한 연구를 수행해왔다. 본 논문에서는 조사, 분석된 연구결과의 일부를 발췌하여 재배유형과 (노지, 시설) 작물 이용부위별로 분류하여 특정 생육시기에 (최대 생육기, 수확기) 엽 분석을 실시하였다 (Table 1 and 2). 식물체 분석을 위한 시료의 채취는 앞서 설명한 바와 같이, 작물별 주산단지에 위치한 농

가를 방문하여 양분결핍, 병해충 등의 피해가 없는 정상적으로 자라고 있는 농가의 작물을 대상으로 지상부 전체를 채취하였다. 표 1과 2에 제시된 바와 같이, 식물체 분석을 위한 시료는 작물별로 최소 8점에서 최대 400점으로 일부 작물을 제외하고는 영양진단을 위한 대표 표본으로 충분히 사용될 수 있도록 하였다. 채취한 시료는 건조 (48시간, 80°C)

Table 1. Optimal levels of leaf mineral nutrients for favorable growth of upland-grown crops.

Crop		Growth stage	No. samples	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
				g kg ⁻¹ , DW					mg kg ⁻¹ , DW			
Potatoes	Sweet potato	Root expansion	145	1.95-3.07	0.23-0.36	2.78-4.75	0.51-1.08	0.21-0.36	71-189	121-208	127-279	8-31
	Potato	Flowering	187	4.19-5.99	0.29-0.49	3.88-5.37	1.17-2.17	0.40-0.75	215-800	74-170	158-607	14-46
Fruit vegetables	Pepper	Harvest	401	4.02-6.26	0.23-0.44	3.57-5.43	1.93-3.09	0.64-1.17	184-368	71-251	114-416	43-172
	Water melon	Fruit expansion	140	2.81-4.62	0.26-0.44	1.76-3.06	1.84-3.45	0.30-0.55	138-340	73-155	123-443	61-217
Leaf vegetables	Cabbage	Maximum growth	124	3.32-4.69	0.60-0.82	3.71-5.59	1.23-2.00	0.19-0.32	132-237	56-90	27-111	40-77
	Spinach	Harvest	110	2.72-4.03	0.38-0.68	3.19-4.92	0.60-1.11	0.59-1.00	1042-2176	58-110	156-268	65-125
	Leek		147	3.54-5.05	0.37-0.55	3.79-5.91	0.59-1.07	0.19-0.30	236-611	48-84	27-135	31-69
Bulb vegetables	Garlic	Bulb expansion	354	2.55-4.13	0.27-0.44	2.70-4.23	0.59-0.75	0.09-0.19	216-384	65-87	13-52	15-90
	Onion		184	2.25-3.17	0.24-0.41	3.12-4.22	0.93-1.23	0.15-0.24	106-208	49-71	38-152	25-51
Root vegetables	Radish	Root expansion	60	3.17-4.50	0.36-0.53	3.07-5.65	1.95-3.18	0.24-0.40	270-634	68-132	168-470	28-68
	Carrot	Harvest	73	2.19-3.19	0.26-0.51	1.42-4.63	0.85-1.55	0.33-0.52	372-682	74-168	144-464	22-148

Table 2. Optimal levels of leaf mineral nutrients for favorable growth of green house (fertigation) crops .

Crop		Growth stage	No. samples	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
				g kg ⁻¹ , DW					mg kg ⁻¹ , DW			
Fruit vegetables	Pepper	Harvest	22	3.54-5.74	0.29-0.47	4.75-6.30	2.68-3.44	0.62-0.90	151-213	28-68	53-101	12-74
	Cucumber		26	3.35-4.98	0.53-0.72	2.47-3.34	2.57-3.80	0.42-0.66	129-226	38-65	36-73	39-76
	Tomato		35	3.53-4.61	0.54-0.96	3.28-4.85	2.89-4.01	0.55-0.85	154-312	27-61	24-76	31-48
	Cherry tomato		60	3.56-4.39	0.35-0.61	3.77-5.08	2.62-4.57	0.55-0.86	144-266	35-57	52-124	21-80
	Straw berry		60	2.46-3.43	0.30-0.51	2.09-2.42	1.04-1.78	0.35-0.48	176-379	37-79	33-92	30-60
	Water melon	Fruit expansion	42	4.08-5.70	0.31-0.51	2.87-4.43	3.89-5.32	0.57-0.79	255-398	23-67	65-225	35-74
	Oriental melon		19	4.21-5.19	0.48-1.13	3.59-5.70	2.48-3.39	0.59-0.82	178-338	53-85	33-93	30-51
	Green pumpkin		28	3.11-3.90	0.50-0.63	2.96-3.71	1.65-2.33	0.63-0.77	116-159	27-45	11-30	32-58
Leaf vegetables	Cabbage	Harvest	38	3.58-4.53	0.71-0.97	6.75-8.43	0.80-2.62	0.28-0.42	212-426	21-35	31-93	47-131
	Lettuce		8	4.51-4.96	0.66-0.79	6.44-9.72	1.18-2.13	0.38-0.57	280-420	22-28	173-529	156-370
	Kale	Maximum growth	8	4.74-6.50	0.65-0.78	5.34-6.61	2.79-3.60	0.59-0.67	108-180	23-35	35-38	49-82
Root vegetables	Radish	Harvest	32	4.49-5.53	0.38-0.52	3.90-5.68	3.10-3.57	0.27-0.43	221-395	27-49	38-133	27-60
	Young radish		10	3.93-4.86	0.43-0.51	6.30-7.47	3.45-3.97	0.62-0.77	454-635	34-39	84-156	25-32

후에 농촌진흥청 국립농업과학원의 식물체 표준분석법에 따라 분해하여 분석시료로 사용하였고, 무기성분별로 전용 분석기기를 이용하여 분석하였다 (Lee et al., 2017).

Leaf analysis (Water soluble-based nutrient concentration) 일반적인 식물체 잎 분석방법은 앞서 설명한 건조된 시료를 산분해하여 얻어진 산물들의 흡광도를 측정하여 농도를 측정하는 방식이다. 기존의 잎 분석방법은 정확성은 높을 수 있으나, 시료의 채취부터 분석에 이르는 일련의 과정에 전문성이 요구되고 분석까지 소요되는 시간이 길어 영농현장에서 신속하게 영양진단을 하는데 어려움이 있다. 이러한 단점을 극복하고 영농현장에서 쉽게 이용할 수 있는 방법을 개발하기 위해, 토양 중 양분함량을 간이측정하는 방법을 식물체 잎의 양분함량을 측정하는데 활용하였다. 2016년부터 2017년까지 주요 과채작물의 주산단지에서 정상적으로 자라는 작물의 잎 (상위, 중위, 하위)을 채취하여 엽병과 엽맥을 제거한 후, Fig. 1에서 보는 바와 같이 생체 시료 (1 g)을 증류수 (10 - 20 mL)를 넣어 막자사발을 이용하여 수용성 즙액을 추출하였다. 이후 휴대용 원심분리기로 (3,000 rpm, 5분, 상온) 층분리 한 후, 상층액을 분석시료로 사용하였으며, 제조사의 매뉴얼에 따라 휴대용 간이측정키트 (RQflex plus 10, Merck Co.)를 이용한 test strip 법으로 수용성 질소 (NO_3), 인 (PO_4) 및 칼륨 (K) 함량을 측정하였다.

Fig. 1. Simplified procedure for measuring water soluble mineral nutrients (N, P and K) from crop leaves.

Results and Discussion

Leaf analysis (Dry weigh-based nutrient concentration) 노지작물의 잎 분석결과를 살펴보면 (Table 1), 고구마, 감자, 고추, 수박, 배추 등 11개 서류와 채소작물을 중심으로 조사되었다. 잎 분석을 위한 시료채취는 대부분 생육성기 - 수확기에 이루어졌다. 무기양분 함량은 작물과 채취한 농가에 따라 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 몇 가지 성분에 대한 작물의 무기성분 함량의 분포형태를 질소의 경우, 잎 또는 과를 수확하는 작물 (고추, 수박, 배추, 파 등)이 줄기 또는 뿌리를 수확하는 작물 (고구마, 마늘, 양파, 당근 등)에 비해 높은 것으로 나타났다. 인의 경우, 잎을 수확하는 작물이 과, 줄기 및 뿌리를 수확하는 작물에 비해 높은 것으로 조사되었으며, 칼륨은 특정한 경향을 보이지는 않았지만, 잎을 수확하는 작물과 감자, 고추, 무에서 높은 것으로 조사되었다. 또한 인경채류 (마늘, 양파) 작물은 상대적으로 무기성분 함량이 낮은 것으로 나타났다. 작물의 유전적, 생리생태적인 특성이 차이를 고려할 때, 작물 간 직접적으로 비교하는 것이 다소 무리가 있을 수 있지만, 본 조사결과로 볼 때, 전반적으로 잎과 과를 수확하는 작물이 줄기와 뿌리를 수확하는 작물에 비해 무기성분 함량이 높아 그에 따른 양분의 요구도가 클 것으로 판단되었다.

노지작물뿐만 아니라, 시설하우스에서 재배하는 주요 채소작물 (과채류, 엽채류, 근채류) 15종에 대해서도 앞서 설명한 바와 같이 동일한 방법으로 최성기 - 수확기 사이에 시료를 채취하여 작물 엽 분석을 수행하였다 (Table 2). 채소작물의 무기성분 함량은 노지작물에 비해 변이 폭이 작았는데, 이는 표본 시료의 수 또는 재배방법에, 노지 (농가별로 다양화), 시설 (농가별로 표준화), 기인한 것으로 예상되었다. 성분 별로 검토한 결과, 질소 함량은 양분 요구량이 적은

딸기를 제외하고 전체적으로 3.5 - 6.0% 사이에 분포하였고, 작물 간에도 큰 차이를 보이지 않았다. 엽채류는 노지재배에서와 동일하게 상대적으로 높은 인 (0.65 - 0.97%)과 칼륨 함량을 (5.34 - 9.72%) 보여, 두 성분의 흡수 또는 요구량이 높은 작물인 것으로 파악되었다. 그에 반해, 칼슘과 마그네슘 함량은 과채류에서 높은 것으로 나타났는데, 칼슘은 2.5 - 5.0%, 마그네슘은 0.5 - 0.9% 범위였다. 또한, 노지와 시설에서 공통적으로 재배된 작물의 (고추, 수박, 배추, 무) 무기성분 분포를 비교하였다. 질소와 인 함량은 재배유형에 따라 큰 차이를 보이지 않았지만, 칼륨, 칼슘 및 마그네슘 함량은 대체로 시설에서 재배한 작물에서 높게 나타났다. 이러한 원인은 노지토양에 비해 시설토양의 양이온 함량이 2배 이상 높은 것과 (농업환경변동조사사업 보고서, 2013, 2015), 시설재배의 경우 토양에 밀거름으로 공급한 퇴비가 보유한 양이온이 (칼륨, 칼슘, 마그네슘 등) 작토층에 집적되어 있는 것이 주요 요인으로 추정된다. 일부 시설재배 작물에 대하여 생육단계별 적정 무기성분 함량에 대하여 보고된 바 있으며 (Lee et al., 2007, 2008, 2011, 2012), 위에서 기술한 조사, 분석된 작물 중 무기성분 함량 결과와 비교, 검토하여 작물과 재배유형별로 분류하였다 (Table 3). 전반적으로 볼 때, 무기성분 함량이 높은 것으로 분류된 작물은 감자, 고추, 수박, 시금치, 무 (이상 노지재배)와 고추, 수박, 참외, 상추, 열무 (이상 시설재배)였고, 낮은 것으로 분류된 작물은 고구마, 배추, 파, 마늘, 양파, 당근 (이상 노지재배)과 오이, 토마토, 방울토마토, 딸기, 애호박, 배추, 케일, 무 (이상 시설재배) 이었다.

Table 3. Optimal levels of water soluble mineral nutrients (unit: mg/kg) for greenhouse-grown vegetable crops. The values in parenthesis mean a coefficient of variation (%).

Crop	No. of samples	Leaf position	NO ₃ -N	PO ₄	K
Cucumber	21	Young	111(57)	1,937(23)	2,879(17)
		Upper fully expanded	213(46)	1,232(18)	2,947(12)
		Middle fully expanded	353(45)	935(30)	3,002(20)
Melon	51	Young	437(39)	345(53)	3,977(16)
		Upper fully expanded	575(36)	301(50)	4,199(17)
		Middle fully expanded	656(53)	223(60)	3,470(28)
Green pumpkin	30	Young	60(58)	656(31)	6,162(13)
		Upper fully expanded	152(58)	374(37)	6,564(12)
		Middle fully expanded	375(48)	323(40)	6,524(8)
Paprika	57	Young	263(43)	1,341(30)	9,211(17)
		Upper fully expanded	433(43)	1,293(20)	10,939(17)
		Middle fully expanded	661(28)	1,053(27)	9,731(18)
Tomato	27	Young	76(49)	766(27)	4,474(11)
		Upper fully expanded	132(40)	819(32)	4,443(20)
		Middle fully expanded	120(45)	729(36)	4,307(12)
Egg plant	48	Young	115(44)	1,621(21)	4,746(10)
		Upper fully expanded	307(46)	1,407(20)	5,398(10)
		Middle fully expanded	424(33)	1,827(41)	6,287(15)
Pepper	30	Young	88(56)	163(16)	13,037(21)
		Upper fully expanded	341(44)	130(11)	13,088(24)
Watermelon	18	Young	421(37)	177(44)	2,957(40)
		Upper fully expanded	441(23)	126(11)	2,780(39)
Strawberry	39	3th flower cluster	133(37)	1,012(25)	4,280(24)
		2nd flower cluster	227(31)	1,148(15)	6,023(15)

Leaf analysis (Water soluble-based nutrient concentration) 시설과채작물의 수용성 질산태 질소, 인 및 칼륨은 작물 종류와 잎의 성숙상태 (어린 잎, 상위 최대 전개 잎, 중위 최대 전개 잎)에 따라 다르게 나타났다 (Table 3). 수용성 질산태 질소함량은 멜론과 수박을 제외한 대부분의 작물에서 어린 잎 ($60 - 263 \text{ mg kg}^{-1}$)에 비해 완전 전개 잎 ($120 - 661 \text{ mg kg}^{-1}$)에서 높은 것으로 나타났다. 이러한 경향은 일회수확형 또는 연속수확형 작물로 구분되는데, 멜론이나 수박과 같은 일회 (1과실/주) 수확하는 작물은 뿌리로부터 흡수한 양분과 수분, 광합성을 통해 얻어 탄수화물을 하나의 과실에 집중시키는 것으로 작물의 관점에서 볼 때 잎의 위치에 따른 영양성분들의 구배가 크지 않다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 또한, 멜론, 파프리카, 가지 및 수박은 잎 중에 수용성 질산태 질소가 상대적으로 많은 작물로, 오이, 애호박, 토마토, 고추 및 딸기는 상대적으로 적은 작물로 구분되었다. 작물의 엽병 즙액을 이용하여 수용성 양분함량을 측정한 결과를 살펴보면, 오이 엽병 즙액의 수용성 질산태 질소함량은 엽위별, 질소공급량별로 차이가 있으나 중상위 잎이 하위 잎보다 높으며 (Lim et al., 2001), 토마토의 잎과 엽병 즙액의 질산태 질소함량 질소공급량에 비례하여 변화한다고 (Kim et al., 2003) 하였다. 또한 오이 엽병 즙액의 질산태질소는 생육초기에 높고 생육기간이 진전됨에 따라 서서히 감소하는 경향을 보였다 (Roppongi, 1989; Kim et al., 2004). 기존 연구결과와 본 연구결과를 고려할 때, 엽병의 질산태 질소함량은 질소공급량 이외에 증산량 (광합성능: 일중변화가 큼)과 밀접한 관계가 있어, 일사량, 온도 등 외부환경에 큰 영향을 받는 것을 감안할 때, 잎의 수용성 질소함량을 영양진단의 지표로 활용하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 수용성 질산태 질소와 달리, 수용성 인은 어린 잎에서 상대적으로 높은 함량을 보였으나, 잎의 위치에 따른 차이는 크지 않았다. 수용성 인을 많이 함유하는 작물은 오이, 파프리카, 토마토, 가지 및 딸기로 $729 - 1,937 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 보였고, 적게 함유하는 작물은 멜론, 애호박, 고추, 수박으로 $126 - 656 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 나타냈다. 수용성 칼륨함량은 작물별로 함량의 차이는 컸으나, 가지와 딸기를 제외하고는 잎의 위치에 따른 차이는 크지 않았다. 오이 엽병 즙액의 수용성 칼륨함량이 작물의 생육단계에 따라 다소 차이는 있지만 $5,000 - 7,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 보인 것으로 볼 때 (Kim et al., 2004), 수용성 칼륨은 잎의 위치나 생육단계에 크게 영향을 받지 않는 것으로 생각된다. 특히 고추와 파프리카에서 매우 높은 함량을 보였는데 ($9,211 - 13,088 \text{ mg kg}^{-1}$), 토마토와 가지를 포함하여 가지과 작물은 수용성 칼륨을 많이 함유하는 것으로 나타났으며, 오이, 멜론, 수박과 같은 박과 작물의 수용성 칼륨함량은 상대적으로 낮았다 ($2,780 - 4,199 \text{ mg kg}^{-1}$). 또한 박과 작물인 애호박과 장미과 작물인 딸기에서도 수용성 칼륨이 많이 존재하는 것으로 나타나, 작물군 뿐만 아니라 재배형태 및 비료공급량과도 연관되어 있음을 시사한다고 볼 수 있다. 따라서, 수용성 양분함량에 따른 양분 함유량의 많고 적음에 대한 상대적 기준으로 분류하면 높은 작물은 파프리카와 가지, 낮은 작물은 오이, 수박 및 멜론으로 나뉘어졌다 (Table 4).

Table 4. Relative classification by the concentration of mineral nutrients of crops.

Analysis	Cultivation	Concentration	Crops
Dry weight-based	Upland	Moderate ~ High	Potato, Pepper, Water melon, Spinach, Radish
		Low ~ Moderate	Sweet potato, Cabbage, Leek, Garlic, Onion, Carrot
	Greenhouse	Moderate ~ High	Pepper, Water melon, Oriental melon, Lettuce, Young radish
		Low ~ Moderate	Cucumber, Tomato, Cherry tomato, Strawberry, Green pumpkin, Cabbage, Kale, Radish
Water soluble-based	Greenhouse	Moderate ~ High	Paprika, Eggplant, Green pumpkin, Pepper
		Low ~ Moderate	Tomato, Strawberry, Cucumber, Watermelon, Melon

Conclusions

작물의 재배과정 중, 정확하고 신속한 영양진단을 통해 최적의 양분관리를 도모하는 것은 매우 중요한 일이다. 국내에서 작물영양생리 연구가 지속적으로 수행되어 왔으나, 영농현장에서 활용가능한 영양진단 지표의 필요성이 꾸준히 요구되고 있다. 이에 노지와 시설재배 작물 중 일부 작물에 대한 무기성분의 적정범위를 비교, 분석한 결과 분석 방법 (건물중, 수용성)에 따라 양분함량의 대소가 다르게 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로, 영농현장에서 신속하게 영양상태를 진단하고, 처방할 수 있는 수용성 양분 (질소, 인, 칼륨)의 분석방법과 적정범위를 일부 시설재배 작물의 잎의 위치에 따라 제시하였다. 수용성 질소는 완전 전개 잎에서, 수용성 인은 어린 잎에서 상대적으로 높은 함량을 보였으나, 수용성 칼륨은 엽령에 따른 차이보다는 작물 (가지과 vs. 박과)에 영향을 받았다. 전체적으로 볼 때, 시설재배 작물의 수용성 양분함량은 상대적으로 가지과 작물이 높고, 박과 작물이 낮은 것으로 나타났다. 향후 수용성 양분진단의 정확성과 신속성을 높이기 위해서는 시료 채취 시간대별 차이 (일중변화), 파쇄방법에 따른 차이, 채취 시료의 보관기간 등에 따른 변화양상을 비교하여 보다 정확한 작물 영양진단 방법이 개발되어야 한다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of the Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ010899), Rural Development Administration (RDA), Republic of Korea.

References

- Ha, S.K., Y.K. Sonn, K.H. Jung, Y.J. Lee, M.J. Cho, H.J. Yun, and J.K. Sung. 2015. Estimation of growth stage-based nitrogen supply levels for greenhouse semi-forcing zucchini cultivation. *J. of Agricultural Sci.* 42:319-324.
- Hayashi, I. 1990. New technique for cut flower cultivation: Part 2. Rose. Sungmundang. Tokyo. pp. 23-48.
- Hong, S.D., and H.T. Park. 2000. The test strip reflectometer method as a quick test procedure for nitrate nitrogen. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:369-375.
- Hong, Y.P., I.B. Hur, and K.S. Lee. 1996. Standard of nutrition diagnosis for horticultural crop. Report of agricultural experiment. *Agricultural environment*: p. 368-377. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Jang, B.C., J.Y. Lee, and S.S. Choe. 2004. Defect and measure of plant physiological disorder. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Jang, B.C., J.Y. Lee, C.S. Lee, S.C. Kim, Y.S. Song, H.B. Yoon, J.K. Sung, Y.J. Lee, W.K. Park, Y.B. Lee, R.Y. Kim, S.Y. Lee, and S.Y. Park. 2009. Results of major nutritional physiology study. *Nutrient Diagnosis*. NAAS, RDA. Suwon, Korea. 240-255.
- Jeong, H.H. 2001. Growth and yield as affected by the different ionic strength of nutrient solution in cucumber. The Graduate School, Suncheon National University.
- Jung, B.G., H.J. Jun, Y.S. Song, and K.S. Lee. 2005. Establishment of optimum nitrogen application rates in fertigation system for vegetable cultivation. *Annual report of National Academy of Agricultural Science* pp. 270-289.
- Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the optimum nitrogen

- application rate for Oriental Melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. Kor. J. of Soil Sci. Fert. 43:349-355.
- Kim, K.D., J.W. Lee, I.H. Cho, T.Y. Kim, Y.H. Woo, E.Y. Nam, and B.H. Mun. 2004. Determination of daily amount of N and K required in various growth stages and establishment of diagnostic criteria using petiole sap analysis in the semi-forcing culture of cucumber. J. Bio-Environ. Control. 13:96-101.
- Kim, K.R., H.U. Cheong, and K.H. Kim. 2003. Rapid nutrient diagnosis of tomato by test strip and chlorophyll meter. J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol. 46:140-143.
- Ko, B.J. 2001. Development of the expert system for diagnosis of physiological disorder in cucumber and tomato. College of Graduate School, Chonnam National University.
- Lee, J.Y., J.H. Park, B.C. Jang, K.S. Lee, B.K. Hyun, S.W. Hwang, Y.S. Yoon and B.H. Song. 2007. The establishment of critical ranges of inorganic nutrition contents in leaves of net melon (*Cucumis melo* L.) in protected cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:471-475.
- Lee, J.Y., J.H. Park, B.C. Jang, K.S. Lee, B.K. Hyun, S.W. Hwang, Y.S. Yoon, and B.H. Song. 2008. Establishment of critical ranges of inorganic nutrition contents in leaves of watermelon (*Cucubita citrullus* L.) in protected cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 41:158-163.
- Lee, J.Y., J. Sung, S.S. Kang, B.C. Jang, S.Y. Lee, R.Y. Kim, and Y.J. Lee. 2012. Contents of inorganic nutrient in leaf perilla in growing stages under plastic film house cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45:215-222.
- Lee, J.Y., J. Sung, S.Y. Lee, B.C. Jang, R.Y. Kim, and S.S. Kang. 2011. Macro and micro nutrient contents in leaves of greenhouse-grown cucumber by growth stages. Korean J. Soil Sci. Fert. 44:215-220.
- Lee, S.B., Y.M. Kim, J. Sung, Y.J. Lee, and D.B. Lee. 2018. Characteristics of growth-stage-based nutrient uptake of lettuce grown by fertigation supply in a greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 51:626-635.
- Lee, Y.J., J.K. Sung, S.B. Lee, J.E. Lim, Y.S. Song, D.B. Lee, and S.Y. Hong. 2017. Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. Korean J. Soil Sci. Fert. 50:93-99.
- Lim, J.H., I.B. Lee, and H.L. Kim. 2001. A criteria of nitrate concentration in soil solution and leaf petiole juice for fertigation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 34:316-325.
- MAFRA statistics. 2016.
- Nam, T.S. 2002. Effect of growth and development of hydroponically grown cucumber plants by changed nutrient solution concentration. Department of Horticulture, Graduate School, Suncheon National University.
- NAS. 2017. Fertilizer application recommendations for crop plants. NAS, RDA. Wanju, Korea.
- NIAST. 1990~2004. Report of agricultural experiment (agricultural environment). National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Park, H.T., and S.D. Hong. 2000. Optimum level of nitrogen fertilizer based on content of nitrate nitrogen for growing Chinese cabbage in green house. Kor. J. of Soil Sci. Fert. 33:384-392.
- Roppongi, K. 1998. Study on nutrient management in vegetable greenhouse soil by real time diagnosis. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 69:235-238.
- Roppongi, K. and H. Yamazaki. 1998. Real-time diagnosis of soil solution of cucumber in protected cultivation using compact nitrate ion-meter. JARZ. 32:15-21.
- Ryu, I.S. 1982. Study on physiological disorder of main vegetable crop-producing area. Outline of agricultural experiment result. RDA, Suwon, Korea.
- Sung, J.K., K.H. Jung, H.J. Yun, M.J. Cho, J.E. Lim, Y.J. Lee, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2016. Optimal levels of additional N fertigation for greenhouse watermelon based on cropping pattern and growth stage. Korean J. Soil Sci. Fert. 49:699-704.