

골프장의 잔디 토양에서 인산 비료의 이동성 평가를 위한 정보 구축

Information on Movement of the Phosphorus(P) Fertilizers in the Turfgrass Soils of Golf Course

정근욱*, 백기태**, 고성환**, 노재관***, 이경호****, 우선희****
충북대학교 농업생명환경대학 농화학과*, 식물자원학과**, 금오공과대학교 토목환경공학부 환경공학과***,
주식회사 에코필****, 충청북도 농업기술원****, 경주대학교 환경계획학과****

Keun-Yook Chung(kychung@cbnu.ac.kr)*, Ki-Tae Baek(kbaek@kumoh.ac.kr)**,
Seong-Hwan Ko(ecophile@hanmail.net)***, Jae-Goan Noh(njg2001@hanmail.net)****,
Kyung-Ho Lee(leekh@kyongju.ac.kr)****, Sun-Hee Woo(shwoo@cbnu.ac.kr)****

요약

일반적으로, 골프장의 퍼팅그린(putting green)지역에서 사용되는 토양은 매우 낮은 CEC(양이온치환용량)와 알루미늄 및 철 수산화물의 코팅이 없는 모래로 이루어진 근근 혼합물로 구성되었다. 이러한 성질로 인해서, 토양에 의한 인산(Phosphorus, P)의 보유는 극히 제한될 수 밖에 없다. 새로운 상업용 인산비료는 골프장의 그린지역에서 적절한 인산의 유지에 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 잔디 품종 Floradwarf bermudagrass (Cynodon dactylon L. PERS.)을 유리온실에서 재배하면서 상업용 인산비료의 이동성과 영양분 공급력을 평가하였다. 전체 12주의 실험기간 동안 격자로 인산의 농도를 측정하기 위해 절단된 잔디와 용출액(leachate)이 수집되었다. 깎여진 잔디는 48시간 동안 70°C에서 건조되었고 건물중량(dry matter)측정이 이루어졌다. 인산의 용출에 있어서 MKP(monopotassium phosphate)와 APP(ammonium polyphosphate)가 가장 많은 양의 인산을 용출시켰고 MAP(monoammonium phosphate)와 0-20-20(액체)이 그 다음으로 많은 양의 인산을 용출 시켰고, CSP(concentrated superphosphate)가 가장 적은 양의 인산을 용출 시켰다. 전체 12주 동안 용출된 인산의 양을 시간별로 분석해 본 결과에 따르면, 2주와 4주 동안 수집된 용출액속에 시비된 인산의 대부분이 용출되었다. 나머지 6주, 8주, 10주, 12주 동안에 용출된 인산의 양은 미미하였다. 용출된 인산의 양은 건조물이나 영양분 흡수와는 상관 관계가 없었다. 전체 인산의 회수율은 43%에서 93%의 범위에 있었다. 인산 비료의 본래의 용해성으로 인해, 인산 비료간의 흡수, 총 건물중량 및 용출에 있어서 차이점이 존재하는 것 같다. 그러므로, 라이시미터(lysimeter) 실험결과에 따르면 CSP, 0-20-20, 그리고 MAP가 골프장의 퍼팅 그린 지역에 사용될 수 있는 환경친화적인 인산 비료로 사료된다.

■ 중심어 : | 골프장 | 잔디토양 | 인산비료 | 용출 | 식물체 흡수 | 건물 중량 | 라이시미터(lysimeter) |

Abstract

This study was initiated to evaluate the Phosphorus(P) leaching potential in the putting green soils and P uptake by the turfgrass in the golf course using the P fertilizers. The turfgrass, Floradwarf bermudagrass(Cynodon dactylon L. PERS.) was planted and grown in the mixture of sand and peat moss in this lysimeter study. Five representative P fertilizers, such as, ammonium polyphosphate (APP), monopotassium phosphate (MKP), MAP(monoammonium phosphate), 0-20-20(liquid), and concentrated superphosphate(CSP, solid) were used in this study. Based on the total P quantity of leachate collected during the whole 12 weeks, MKP and APP are the first group of P fertilizers contributing to the leaching of P, then MAP and 0-20-20 are the second group of P fertilizers causing the P leaching. Finally, CSP is the third group of P fertilizer resulting in the P leaching. However, most of P applied and collected in the lysimeter were leached during the first period of two and four weeks, compared to that of P leached during the second period of six, eight, ten, and twelve weeks. Applications of MAP, APP and CSP, MKP and 0-20-20 in order produced the largest amount of total dry matter. However, APP, MKP and MAP, CSP and 0-20-20 in order showed the largest amount of P uptake. Therefore, based on the data of P leaching, dry matter production, and plant P uptake, it appears that CSP, 0-20-20, and MAP are the environmentally sound fertilizers recommended in the turfgrass putting green soil of golf course.

■ Key Words : | Golf Course | Turfgrass Soils | P Fertilizer | Leaching | Plant Uptake | Dry Matter | Lysimeter |

* 본 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다.

접수번호 : #080813-002

심사완료일 : 2008년 08월 22일

접수일자 : 2008년 08월 03일

교신저자 : 정근욱, email : kychung@chungbuk.ac.kr

I. 서론

인산은 핵산, 단백질, 인지질 등의 구성성분으로 식물의 조직을 만들 뿐만 아니라 광합성, 호흡작용, 당 합성 및 분해대사 등의 생화학적 작용에 중요한 역할을 하며 일반적으로 식물의 생장, 분얼, 뿌리신장, 개화 및 결실을 촉진한다[1][2]. 인산은 과실의 성숙을 촉진하며 당도를 높이고 저장성을 좋게 한다. 인산의 공제와 전류를 방해하여 황백화 현상을 일으킨다. 또 인산의 공급이 부족하게 되면 뿌리와 줄기의 발달이 빈약하고 과수에서 신초의 발육과 화의 발달 및 개화가 불량하게 되어 종실과 종자형성이 불량해지고 수량과 품질이 떨어진다. 결핍증상은 잎이 담갈색이 되고 인산은 질소만큼 용출로 인해서 손실이 야기될 것 같지는 않다. 인산은 다양한 무기형태로 자연계에 진입하기 때문에 대부분의 경우에 잘 녹지 않고, 용출될 것 같지 않다[3-5].

골프장의 그린지역에서 사용되는 토양은 보편적으로 사용되는 일반 토양이 아니라, 미국 골프협회에서 사용하는 규격의 토양인 선별된 크기의 모래와 peat moss (토탄 덩어리)를 사용한다[6]. 역사적으로 사용되어 왔던 모래 토양은 철과 알루미늄의 산화물로 덮여져서 인산을 보유하는 데 도움을 주는 것으로 알려져 있다. 그러나 골프장의 그린지역 건설 규정의 변화로 코팅되지 않은 모래가 사용되어져 왔다. 코팅되지 않은 모래 토양에서 인산은 더욱 더 신속하게 용출되고 적절한 인산의 유지는 어려워 지게 되었다[6]. 실험에 사용된 라이시미터는 자연의 토양 환경 생태계를 실험실 규모에서 실험하기 위해 제작한 소규모 실험장치로 잔디 토양에서 인산비료의 이동과정을 평가하는 데 유용하다[7].

국내외적으로, 골프장의 그린 지역에 사용되는 토양을 가지고, 라이시미터(lysimeter)를 이용하여 인산 비료원들의 이동에 관한 연구는 전무한 실정이다. 그러므로, 이 연구에서 골프장의 그린 지역에서 사용되는 토양으로 충전된 라이시미터(lysimeter)를 사용하여 상업용 인산 비료의 이동성을 평가하고자 수행되었다.

II. 실험재료 및 방법

부피 기준으로 85%의 모래와 15%의 유기물로 채워진 라이시미터(직경 15cm 높이 15cm)를 사용하여 실험에 사용된 다양한 인산 비료로부터 인산의 이동성이 평가되었다. 라이시미터(lysimeter)는 유리온실에서 실험기간 동안(5월에서 8월) 지속적으로 일정한 조건(낮 32°C, 밤 21°C)에서 유지 되었다. Floradwarf bermudagrass(*Cynodon dactylon* L. Pers.)가 각각의 라이시미터의 표면에 잘 맞도록 적절하게 잔디 뿌리를 물로 씻어 일정한 크기로 예취하여 분주되었다. 유리온실에서 낮과 밤에 유지된 온도는 32°C 와 21°C 였다. 90일 동안의 연구 기간 동안에 잔디의 높이는 5mm의 높이로 계속적인 예취에 의해 유지되었다. 처리구는 3반복으로 난괴법(randomized block design)으로 고안되었다[8]. 농축 과인산(CSP, concentrated super phosphate)비료, 암모니움 다중인산비료(APP, ammonium polyphosphate)비료, 모노 칼리 인산 비료(MKP, monopotassium phosphate), 모노 암모니움 인산 비료(MAP, monoammonium phosphate), 액비(0-20-20, potassium hydroxide와 phosphoric acid의 혼합용액)과 같은 인산비료가 실험에 사용되었다. 사용된 인산의 초기농도는 225mg 이었다. 질소의 농도는 30일 주기로 실험에 사용된 각각의 라이시미터의 모든 처리구에 9.88g N m²의 농도를 계속 유지하기 위하여 시비되었다. 토양 및 식물체 그리고 용출액에 있는 인산 분석은 인산몰리브덴 비색법을 이용하여 spectrophotometry로 측정하였다[9], 모든 실험 데이터는 SAS(version, 6.0)에 의해 Duncan의 다중 분석법에 의해 P<0.05 수준에서 분석되었다[10].

III. 결과 및 고찰

1. 인산 용출

용출액을 수집하여 인산을 분석한 결과, 대부분의 인산은 [Fig. 8]에서 보다 시피, 시비한지 2주째(첫 번째 수집)와 4주째(두 번째 수집)의 용출 기간에 대부분의

인산이 설치된 라이시미터로 부터 용출되었다. 시비한 지 2주 후인 첫 번째 용출 측정기간에는 MKP, MAP, APP를 처리한 라이시미터로 부터 21mg, 18mg, 16mg의 인산이 각각 용출 되었다[Fig. 1]. 반면에, CSP와 0-20-20 비료는 12mg와 8mg의 인산이 용출되었다. 시비한지 4주 후인 두 번째 용출 측정시에는 MKP와 APP가 각각 23 mg, 17mg의 인산을 용출 시켜 인산 용출을 일으키는 주 비료원 이었다[Fig. 2]. 반면에 0-20-20, MAP, CSP는 각각 13mg, 12mg, 9mg을 용출 시켰다.

시비한지 6주 후인 세 번째 용출 측정기간에는

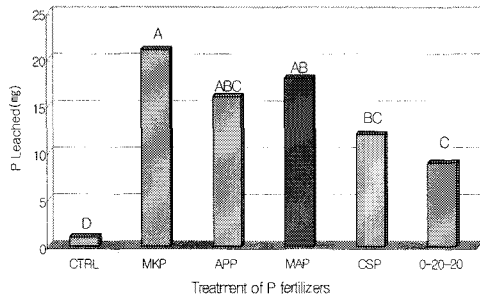


Fig 1. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 2 weeks after application.

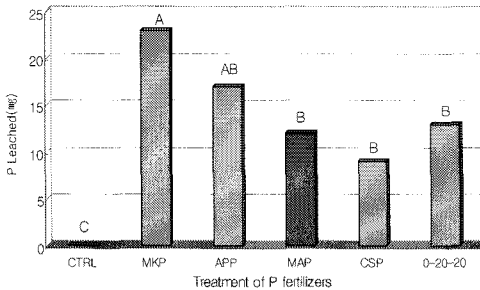


Fig 2. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 4 weeks after application.

MKP, APP, 0-20-20, MAP의 순서대로, 각각 8.5mg, 7.3mg, 7.2mg, 6.3 mg을 용출 시켰다. 반면에 CSP는 3.8mg을 용출 시켰다[Fig. 3]. 시비한지 8주 후인 네 번째

용출 측정기간에는 APP가 9.3mg을 용출 시켜 가장 양이 많았고, 그 다음으로 MKP, 0-20-20, MAP가 각각 5.7mg, 5.7mg, 5.2mg을 용출 시켰다. 마지막으로 CSP가 3.1mg을 용출 시켜 가장 적은 양을 용출 시켰다[Fig. 4].

시비한지 10주 후인 다섯 번째 용출 측정기간에는 APP가 4.8mg을 용출시켜, 가장 많은 양을 용출시켰고, 그다음으로 MKP, MAP가 2.3mg, 2.2mg을 용출 시켰고, 마지막으로 0-20-20와 CSP가 각각 0.5, 0.4mg으로 가장 적은 양을 용출시켰다[Fig. 5].

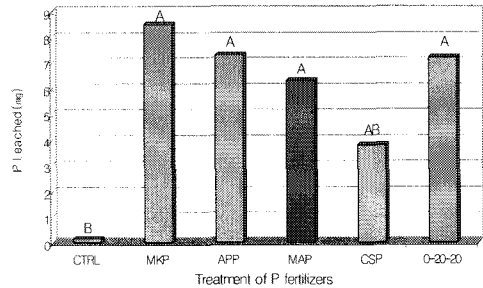


Fig 3. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 6 weeks after application.

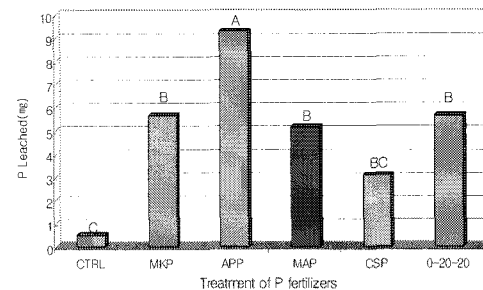


Fig 4. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 8 weeks after application.

시비한지 12주 후인 여섯 번째 용출 측정기간에는 APP가 5.2mg을 용출 시켜 가장 많은 양을 용출 시켰고, MKP와 MAP가 1.8mg, 1.5mg을 용출 시켰고, 마지막으로 0-20-20와 CSP가 각각 0.8mg, 0.6mg으로 가장

적은 양을 용출시켰다[Fig. 6].

[Fig. 1]에서 [Fig. 6]까지의 인산의 용출 결과를 합하여 용출 경향을 분석한 결과 [Fig. 7]에서 볼 수 있는 것처럼, 시비한지 12주 후 동안 여섯 번의 용출액을 측정하여 용출된 인산의 양을 합하여 인산의 용출량을 비교한 결과 MKP와 APP가 각각 62mg, 60mg으로 가장 많은 양을 용출 시켰다는 것을 알 수 있었다. 그 다음으로 MAP, 0-20-20, CSP의 순으로 각각 45mg, 37mg, 29mg을 용출시켰다.

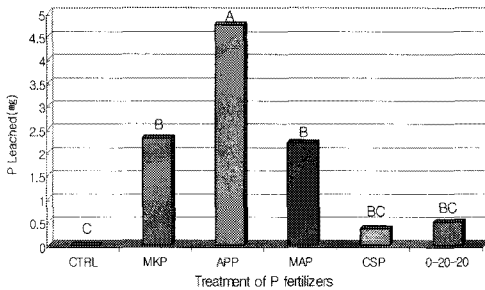


Fig 5. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 10 weeks after application.

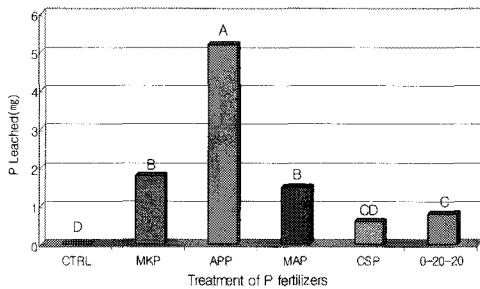


Fig 6. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 12 weeks after application.

[Fig. 8]은 [Fig. 1]부터 [Fig. 7]까지의 결과를 시간에 따른 각각의 인산 비료원의 용출 경향으로 집약해서 보여주었다. [Fig. 1] 부터 [Fig. 7]에서 볼 수 있었던 것처럼 사용된 인산 비료원에 관계없이 시비한지 4주 동안에 첫 번째와 두 번째 인산 용출 측정 기간 동안에 대부

분의 총 용출된 인산이 용출되었음을 볼 수 있었고, 6주, 8주, 10주, 12주의 용출 측정기간에는 전반부 4주 동안에 두 번의 인산 용출 측정량에 비해 용출된 인산의 양은 현저히 줄어들었다는 것을 알 수 있었다. 참고로 12주 동안 총 용출된 인산의 양을 비교해 보면, MKP, APP, MAP, 0-20-20, CSP의 순으로 각각 62mg, 60mg, 45mg, 37mg, 29mg을 용출시켰다[Fig. 7].

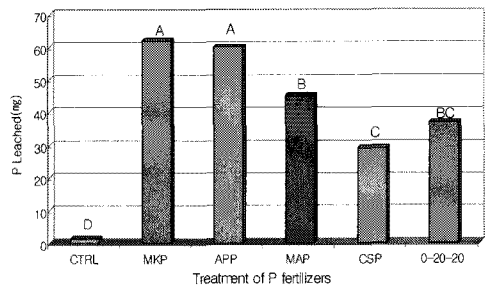


Fig 7. Effect of applied P sources on quantity of P leached during the first leaching event, 12 weeks after application.

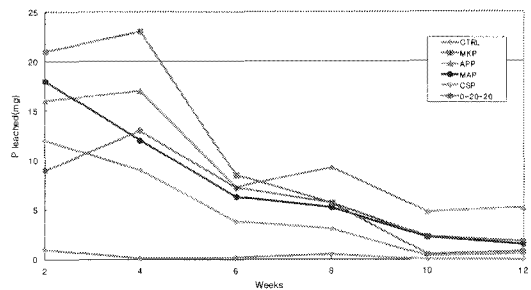


Fig 8. Change of the quantity of P leached as applied by P fertilizers during the 12 weeks.

MKP와 0-20-20 비료원의 유사한 화학적인 성질 [4][5]에 비취 볼 때 두 비료원의 용출 특징은 유사할 것으로 예측되었으나 실제로는 상당히 차이가 있었다. 3주경의 용출 측정을 위한 시료에 대해, 용출액에서 처음의 인산의 양과 비교했을 때 약 50%로 감소되었다. 다른 비료원과 비교해 볼 때 CSP가 가장 적은 양으로 용출되었다. MKP와 APP는 시비된 전체 양 중에서 대

약 27%인 60mg의 인산을 용출 시켰으며, [Table 1]과 [Table 2]에서 보는 것처럼 사용된 비료원 중에서 제일 많은 양의 인산을 용출 시켰다. MAP와 0-20-20가 중간 정도로 용출시켰고, CSP가 가장 적은 양의 인산을 용출 시켰는데 대략 30mg의 인산에 해당되었다. MKP와 0-20-20 비료원의 유사한 화학적인 성질[4][5]로 인해서, 두 비료원의 인산의 용출양이 비슷할 것으로 기대되었으나 MKP가 0-20-20의 두 배 정도 많은 양의 인산을 용출 시켰다. 마찬가지로, APP와 MAP도 유사한 화학적인 성질[4][5]로 인해서 용출량에 있어서 차이가 있을 것으로 기대되지는 않았으나 인산의 용출에 있어서 큰 차이를 보여 주었다. 두 비료원 사이의 주요 차이점은 APP는 다중인산이고, 액체인 반면에 MAP는 정인산염이고 고체라는 것이다[4][5]. CSP는 물과 시트릭산에 가장 적게 녹고 가장 적은 양의 인산을 용출시켰다.

Table 1. Change of P amount leached as a function of time.

Time (Weeks) Treatment(mg)	2	4	6	8	10	12	합
CTRL	1	0.1	0.15	0.5	0	0	1.5
MKP	21	23	8.5	5.7	2.3	1.8	62
APP	16	17	7.3	9.3	4.75	5.2	60
MAP	18	12	6.3	5.2	2.2	1.5	45
CSP	12	9	3.8	3.1	0.35	0.6	29
0-20-20	9	13	7.2	5.7	0.5	0.8	37

Table 2. Distribution of P in plant, soil and leachate as influenced by P sources applied to bermudagrass.

인산 비료원	식물체 흡수	토양	용출	총 양	회수율
	mg 인산 라이시미터 ⁻¹				%
MKP†	86.8a‡	129.3ab	62.2a	278.2ab	82
APP	116.3a	128.1ab	59.6a	304.0a	93
MAP	91.5b	110.9ab	45.2b	247.6ab	68
CSP	73.2c	88.2b	29.1c	190.6b	43
0-20-20	75.6c	163.1a	36.4bc	275.0ab	80
대조군	23.1d	69.6b	1.4d	94.1c	

2. 총 건물 생산량

MAP는 다른 인산 비료원과 비교해서 상대적으로 최대 전체 건물생산량을 생산했다[Fig. 9]. 그 다음으로, APP와 CSP가 각각 12.5mg, 12.4mg의 인산을 흡수했고, 다음으로, MKP와 0-20-20가 똑같이 11.2mg의 인산을 흡수했다는 것을 알 수 있었다. 그러나, 다른 인산 비료원들과의 비교에서 차이는 2g도 채 안되었다. 사용된 다른 인산 비료원들 사이에, 건물생산량을 비교해 볼 때 라이시미터의 인산 처리구에서 건조량이 대조군과 비교해서 두 배 정도 컸기 때문에 사용된 모든 비료원들 간에는 성장에 있어서 긍정적인 유의성을 가지고 있음을 보여 주었다.

3. 전체 식물체 인산 흡수

식물체 총건물생산량의 결과와 bermudagrass 전체 식물체내에 흡수된 인산의 양을 분석해 보면 [Fig. 10]에서 볼 수 있는 것처럼 다중인산염 암모니움(APP)이 116mg으로 가장 많은 양의 인산 흡수를 유도했고, 그 다음이 MAP와 MKP로 각각 90mg, 88mg의 인산을 흡수했고, 마지막으로 0-20-20와 CSP가 각각 74mg, 72mg의 P를 흡수 했다. [Table 2]에서 보는 것처럼 다른 인산 비료원과 비교해서 약 44%가 식물체에 흡수되었다. 비록 APP가 전체적으로 가장 큰 양의 인산을 용출 시켰지만 이러한 용출로 인한 손실은 전체적인 인산 흡수를 방해했다. MKP와 MAP로서 시비된 인산의 대략 30%가 bermudagrass에 의해서 축적되었고, CSP와 0-20-20은 대략 24%가 흡수되었다. 여기서 CSP와 0-20-20비료원은 가장 적은 양의 인산을 용출 시켰으며, 동시에 가장 적은양의 식물체 이용 인산을 공급했다.

4. 인산 회수율

[Table 2]에서 보는 것처럼 인산 비료원에 대한 회수율의 범위는 비교적 우수했고 개별적인 차이가 존재하였다. 그 중에서도 특히 다중인산염 암모니움(APP)으로서 시비된 인산은 거의 93%가 회수되었다. 비록 MAP가 APP와 화학적으로 유사하지만, MAP는 68%

가 회수되었다. 비교적 낮은 CSP의 용해도로 인해서 약 43%의 낮은 회수율이 얻어졌다.

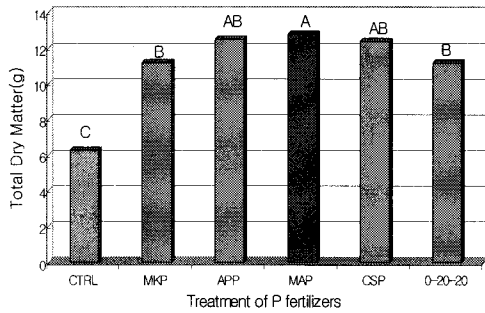


Fig 9. Effect of P sources on the total dry matter of bermudagrass.

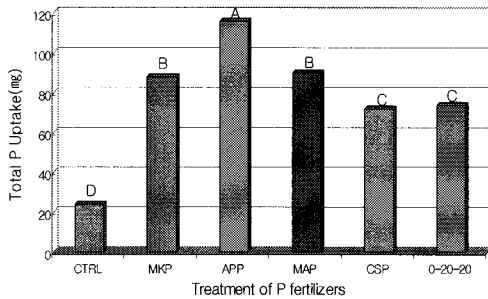


Fig 10. Effect of P sources on the total P uptake of bermudagrass.

IV. 결론

사용된 인산 비료원은 모두 식물체 흡수와 토양 보유 능에 영향을 주었다. 12주 동안 용출된 총 인산의 양을 비교해 보면, MKP, APP, MAP, 0-20-20, CSP의 순으로 각각 62mg, 60mg, 45mg, 37mg, 29mg을 용출 시켰다[Fig. 7]. 사용된 비료원의 대부분의 인산은 2주와 4주 간의 시료 수집 기간 동안에 용출되었음을 알 수 있었다[Fig. 8]. 암모니움 다중인산염(APP)이 식물체에 가장 많은 이용 가능한 인산을 제공해 주었다. 그 다음이 MAP와 MKP였고, 마지막으로 CSP와 0-20-20 비료가 가장 적은 양의 인산을 식물체에 제공했다. 전체

식물체와 토양 그리고 용출된 인산의 양을 근거로 볼 때, 사용된 라이시미터에서 인산의 회수율을 계산해 보면, APP가 가장 높았고, MKP, 0-20-20, MAP의 순서였고, CSP의 회수율이 가장 낮았다. 인산 비료원들은 인산 흡수, 식물 성장, 용출 손실, 그리고 회수율에 큰 영향을 미쳤다.

참고문헌

- [1] Z. Taiz, Plant Physiology, 2nd. ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, 1998.
- [2] V. Donald and J. G. Voet, Biochemistry, John Wiley and Sons, NewYork, 1990.
- [3] M. Konrad, A. Ernest, and Kirkby, Principles of plant nutrition, AG Bern, switzerland, 1978.
- [4] L. Samuel, Tisdale, L. Werner, Nelson, D. James, and Beaton, *Soil Fertility and Fertilizer, 4th ed MacMillan Publishing Company, New York, 1985.*
- [5] S. J. Ulysses, Fertilizers and soil fertility, Reston Publishing Company, Virginia, 1979.
- [6] C. Nick, Fundamentals of turfgrass management Ann Arbor Press, MI, 1998.
- [7] G. H. Snyder and J. L. Cisar, Evaluation of controlled-released potassium fertilizers for turfgrass, -technical report, Univ, of Florida. Gainesville, FL, pp.93-97, 1990.
- [8] O. Liman, An introduction to statistical methods and data analysis, 3rd ed. PWS-KENT, 1989.
- [9] R. W. Weavers, J. S. Angle, and P. S. Bottomley, Methods of soil analysis, Part II, Soil Science Society of America, USA, 1994.
- [10] SAS Institute, Inc. SAS user's guide: statistics, SAS system Version 6, 4th ed. SAS Institute, Inc., Gary, NC, 1989.

우 선 희 (Sun-Hee Woo)

정회원



- 1984년 2월 : 충북대학교 농과대학 농학과(농학사)
- 1990년 2월 : 충북대학교 대학원 농학과(농학석사)
- 1998년 3월 : 일본 가고시마대학교 대학원 연합농학연구과 수료

(농학박사)(일본문부성초청장학생)

- 1998년 ~ 2000년 : Agriculture & Agri-Food Canada, Cereal Research Centre(캐나다 과학재단(NSERC)초빙연구원)
- 2000년 ~ 2002년 : 일본학술진흥회 (JSPS) 특별연구원(일본요코하마시립대학교 기하라생물학연구소 객원조교수)
- 2002년 ~ 2003년 : 일본이화학연구소 정 연구원
- 2003년 ~ 2004년 : 한국기초과학지원연구원 선임위촉연구원
- 2002년 9월 ~ 2002년 12월 : Dept. of Agronomy, Purdue University Visiting Scientist
- 2004년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 농업생명환경대학 식물자원학과 교수

<관심분야> : 식물분자유전육종학, 식물환경스트레스 및 기능프로테오믹스, 메타볼로믹스