

골프장의 잔디 토양에서 다양한 코팅 및 비코팅 칼륨(K) 비료의 이동성 평가

김흥기¹ · 한석순¹ · 권상문¹ · 김희정¹ · 우선희² · 이문순³ · 백기태⁴ · 이봉규⁵ · 이상승⁶
김인수⁷ · 정근욱^{1*}

충북대학교 농업생명환경대학 농화학과¹, 충북대학교 농업생명환경대학 식물자원학과²,
충북대학교 농업생명환경대학 특용식물학과³, 금오공과대학교 환경공학과⁴, 충청북도 보건환경연구원⁵,
충청북도 음성군 농업기술센터⁶, 충청북도 영동군 농업기술센터⁷

Movement for the Various Coated and Uncoated Potassium(K) Fertilizers in the Turfgrass Soils of Golf Course

Hong-Ki Kim¹, Seok-Soon Han¹, Sang-Moon Kwon¹, Hee-Jung Kim¹,
Sun-Hee Woo², Moon-Soon Lee³, Ki-Tae Baek⁴, Bong-Gyu Lee⁵,
Sang-Sung Lee⁶, In-Su Kim⁷ and Keun-Yook Chung^{1*}

¹Departments of Agricultural Chemistry, ²Crop Science, ³Industrial Plant,
Chungbuk National University, Cheongju, Korea,

⁴Department of Environmental Engineering, Kumoh National University, Gumi, Korea,

⁵Chungbuk Institute of Health & Environment Research

⁶Eumseong-gun, Yeongdong-gun, ⁷Agriculture Technology & Extension Center

ABSTRACT

This study was initiated to evaluate the K leaching potential in the green soils and K uptake by the turfgrass in the golf course using the K 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. Eight representative K fertilizers, such as, monopotassium phosphate (MKP), KCL, K₂SO₄, KNO₃, CKCl, CK₂SO₄, CKNO₃, and 0-20-20(liquid) were used in this study. Based on the total K quantity of leachate collected during the whole 12 weeks, 0-20-20 is the K fertilizers

*Corresponding author. Tel : +82-43-261-3383, +82-10-3429-8102

E-mail : kychung@cbnu.ac.kr

Received : Apr. 9, 2009, Revised : May. 20, 2009, Accepted : Jun. 1, 2009

이 논문은 2007년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

the most contributing to the leaching of K, then MKP, the second, KCL, the third, and finally KNO_3 are K fertilizers contributing to the K leaching. However, most amount of K applied and collected in the lysimeter were leached during the first period of two and four weeks, compared to that of K leached during the second period of six, eight, ten, and twelve weeks. Application of CKCL and CK_2SO_4 produced the largest amount of total dry matter, then MKP and KCL, KNO_3 and CKNO_3 , 0-20-20 in second group. However, except K_2SO_4 , most K fertilizer sources such as MKP, KCL, KNO_3 , CKCL, CK_2SO_4 , CKNO_3 , 0-20-20 showed the largest amount of K uptake, except K_2SO_4 . Therefore, based on the K leaching, dry matter production, and plant K uptake, it appears that the coated fertilizers, CKCL, CKNO_3 , and CK_2SO_4 are the environmentally sound fertilizers recommended in the turfgrass green soil of golf course.

Key words : dry matter, golf course, K fertilizer, leaching, lysimeter, plant uptake, turfgrass soils

서론

칼륨(K)은 모든 생물에게 필수적인 원소이고, 식물의 생리적, 생화학적 작용에 있어서 가장 중요한 양이온이며, 식물조직에 의한 흡수속도가 빠르다. 칼륨의 중요한 생화학적 작용은 여러 가지 종류의 효소반응계를 활성화 시킨다. 또한 칼륨은 광합성 작용에서 CO_2 의 고정을 촉진시킨다고 알려졌다. 칼륨이 결핍되면 생장이 감소되고 후기에는 황화현상과 백화현상이 나타난다. 칼륨이 결핍된 식물은 팽압의 저하, 수분 부족시의 축늘어짐, 상해, 병해, 염해에 대하여 민감한 반응을 보이고 식물의 조직과 세포의 발달이 비정상적이다(Zeiger, 1998; Voet 와 Voet, 1990; Mengel와 Kirkby, 1978; Tisdale 등, 1985; Jones, 1979).

칼륨(K)은 비용해성 무기 화합물을 형성하지는 않지만, 토양의 양이온 치환체에 흡착된다. 전형적인, 미국 골프협회에서 규정한 모래와 peat가 혼합된 혼합물의 낮은 양이온 치환 용량 때문에 상당한 양의 칼륨이 용출되어 토양에 보유되지 않는다. 토양에서 칼륨의 이동성은 칼륨과 관련된 음이온의 형태와 관련이

있고 이동성은 다음과 같은 순서로 알려져 있다 : $\text{NO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4 > \text{PO}_4$ (Sadusky 와 Sparks, 1991).

골프장의 그린지역에서 사용되는 토양은 보편적으로 사용되는 일반 토양이 아니라, 미국 골프협회에서 규정하는 규격의 토양인 선별된 크기의 모래와 peat moss를 사용한다(Christians, 1998). 자주 사용되는 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. 코팅이 되지 않은 모래 토양에서 칼륨은 더욱 더 신속하게 용출되고 적절한 칼륨의 유지는 어려워지게 되었다(Christians, 1998).

국내외적으로, 골프장의 그린 지역에 사용되는 토양을 가지고, 칼륨 비료원들의 이동에 관한 연구는 전무한 실정이다. 다만, 골프장의 그린지역에서 사용되는 토양을 가지고 상업용 인산(P) 비료의 이동성이 정등(2008)에 의해 수행되었을 뿐이다. 그러므로, 이 연구는 골프장의 그린 지역에서 사용되는 토양으로 충전된 라이시미터(lysimeter)를 사용하여 다양한

상업용 코팅 및 비 코팅 칼륨(K) 비료의 이동성을 평가하고자 수행되었다.

재료 및 방법

부피 기준으로 85%의 모래와 15%의 peatmoss 혼합 비율로 채워진 라이시미터(직경 15cm 높이 15cm)를 사용하여 실험에 사용된 다양한 칼륨 비료로부터 인산의 이동성이 평가되었다. 라이시미터(lysimeter)는 유리온실에서 실험기간 동안(5월에서 8월) 지속적으로 일정한 조건(낮 32°C, 밤 21°C)에서 유지되었다. Floradwarf bermudagrass (*Cynodon dactylon* L. PERS.)가 각각의 라이시미터의 표면에 잘 맞도록 적절하게 잔디 뿌리를 물로 씻어 일정한 크기로 예초하여 분주되었다. 유리온실에서 낮과 밤에 유지된 온도는 32°C 와 21°C 였다. 90일 동안의 연구 기간 동안에 잔디의 높이는 5mm의 높이로 계속적인 예초에 의해 유지되었다. 처리구는 3반복으로 난괴법(randomized block design)으로 고안되었다(Ott, 1989). 칼륨 인산 비료(MKP, monopotassium phosphate), 칼륨 클로라이드 비료(KCL), 황산 칼륨 비료(K₂SO₄), 질산 칼륨 비료(KNO₃), 코팅된 염화 칼륨 비료(KCL), 코팅 이 된 황산 칼륨(K₂SO₄), 코팅 이 된 질산 칼륨 비료(KNO₃), 0-20-20(액체비료, potassium hydroxide와 phosphoric acid의 혼합용액)과 같은 칼륨 비료가 실험에 사용되었다. 사용된 칼륨의 초기 농도는 260mg K/pot 이었다. 질소의 농도는 30일 주기로 실험에 사용된 각각의 라이시미터의 모든 처리구에 9.88g N m²의 농도를 계속 유지하기 위하여 시비되었다. 실험을 위해서 사용된 라이시미터는 거의 적절한 수분 함량으로 유지되었고, 용출을 유도하기위해, 첨가된 물이 라이

시미터를 통과하여 비이커에 수집되어 용출된 K의 측정에 사용되도록 2주마다 약 500mL의 물이 라이시미터에 투입되었다. 토양 및 식물체 그리고 용출액에 있는 칼륨 분석은 atomic absorption spectrophotometry로 측정하였다(Weavers 등, 1994). 모든 실험 데이터는 SAS에 의해 Duncan의 다중 분석법에 의해 P<0.05 수준에서 분석되었다(SAS Institute, Inc., 1989).

결과 및 고찰

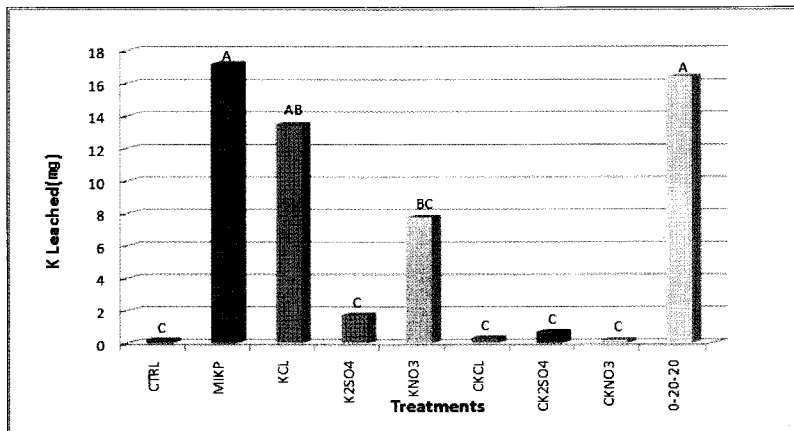
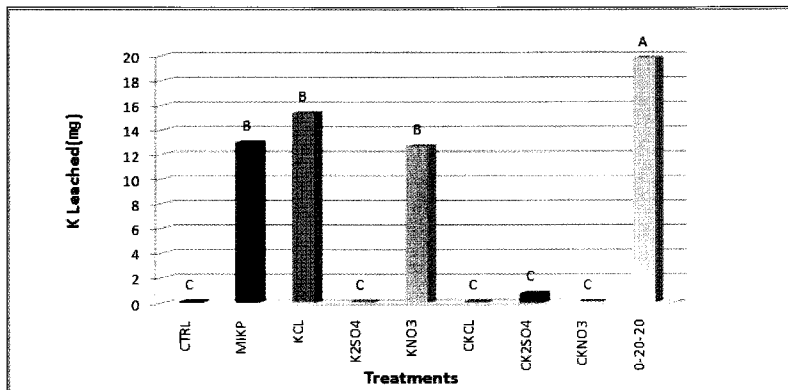
칼륨(K) 용출

용출액을 수집하여 칼륨을 분석한 결과, 대부분의 칼륨은 Fig. 8과 같이, 시비 한지 2주째(첫 번째 수집)와 4주 째(두 번째 수집)의 용출 기간에 설치된 라이시미터로 부터 대부분의 칼륨이 용출되었다. 시비 한지 2주 후인 첫 번째 용출 측정기간에는 MKP, 0-20-20, KCL을 처리한 라이시미터로 부터 17mg, 16mg, 13mg의 칼륨이 각각 용출되었다(Fig. 1). 그 다음으로 KNO₃로 부터 약 8mg의 칼륨이 용출되었다. K₂SO₄는 미량으로 약 1.8mg의 칼륨이 용출되었다. 코팅이 된 KCL, K₂SO₄, KNO₃는 거의 용출되지 않았다. 시비 한지 4주 후인 두 번째 용출 측정시에는 0-20-20가 20mg으로 용출되었고(Fig. 2), 그 다음이 KCL, MKP, KNO₃ 각각 15, 13, 13mg으로 용출되었고, K₂SO₄, CKCL, CK₂SO₄, CKNO₃는 거의 첫 번째 용출액 측정시와 마찬가지로 칼륨이 측정되지 않았다. Fig. 1과 Fig. 2에서 0-20-20가 제일 많은 칼륨을 용출 시켰고, MKP, KCL, KNO₃가 두 번째로 많은 양의 칼륨을 용출시켰다.

시비 한지 6주 후인 세 번째 용출 측정기간에는 0-20-20이 5.7mg으로 가장 많은 양의

Table 1. Change of K amount as a function of time.

Treatment (mg)	Time (Weeks)						Total
	2	4	6	8	10	12	
CTRL	0.2	0.1	0.05	0.04	0.05	0.01	0.1
MIKP	17.2	13	0.2	0.12	0.06	0.006	30.5
KCL	13.5	15.4	0.1	0.07	0.04	0.007	28
K ₂ SO ₄	1.75	0.1	0.05	0.02	0.06	0.003	2
KNO ₃	7.78	12.7	0.7	0.07	0.04	0.007	21
CKCL	0.35	0.1	0.15	0.08	0.21	0.01	1
CK ₂ SO ₄	0.7	0.8	0.3	0.1	0.13	0.007	2
CKNO ₃	0.2	0.1	0.1	0.07	0.04	0.017	0.3
0-20-20	16.4	19.8	5.7	0.1	0.07	0.003	42

**Fig. 1.** Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the first leaching event, 2 weeks after application**Fig. 2.** Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the second leaching event, 4 weeks after application.

칼륨을 용출시켰다(Fig. 3). 반면에, 첫 번째와 두 번째 용출 측정시에 비교적 많은 양의 칼륨을 용출시켰던 MKP, KCL, KNO₃로부터는 1mg 이하에서 칼륨이 용출되었다. 첫 번째와 두 번째 용출 측정기간 (Fig. 1과 Fig. 2)동안에 비해 세 번째 용출 측정기간(Fig. 3)에는 용출 농도가 현저히 감소되었음을 알 수 있었다.

시비 한지 8주 후인 네 번째 용출 측정기간 (Fig. 4)에는 MKP가 0.12mg, 0-20-20가 0.1mg, 코팅이 된 K₂SO₄는 0.1mg, 코팅이 된 KCL이 0.08mg, 코팅이 된 KNO₃와

KCL, 코팅이 안된 KNO₃은 0.07mg을 용출시켰다.

시비 한지 10주 후인 다섯 번째 용출 측정기간(Fig. 5)에는, 코팅이 된 KCL이 0.21 mg, 코팅이 된 K₂SO₄가 0.13mg, 0-20-20가 0.07mg, 사용된 다른 칼륨 비료원들, MKP, KCL, K₂SO₄, KNO₃, CKNO₃은 0.04에서 0.06mg의 범위에서 칼륨의 용출을 보여 주었다.

시비 한지 12주 후인 여섯 번째 용출 측정기간(Fig. 6)에는, 코팅이 된 KNO₃가 0.017mg의 칼륨을 용출시켰고, MKP, KCL, KNO₃, CKCL, CK₂SO₄가 두 번째로 칼륨을

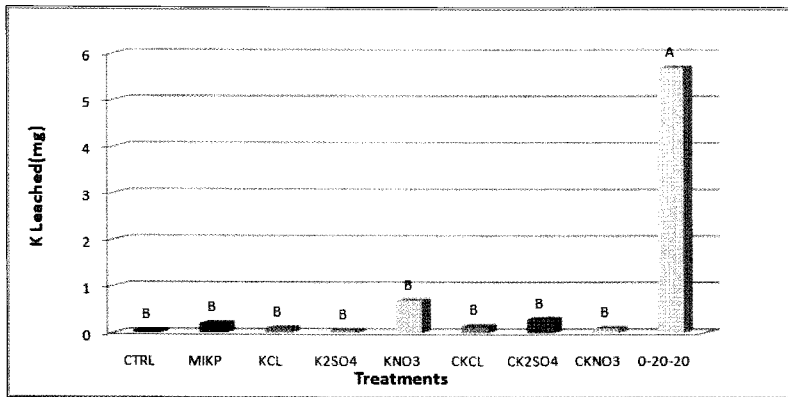


Fig. 3. Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the third leaching event, 6 weeks after application.

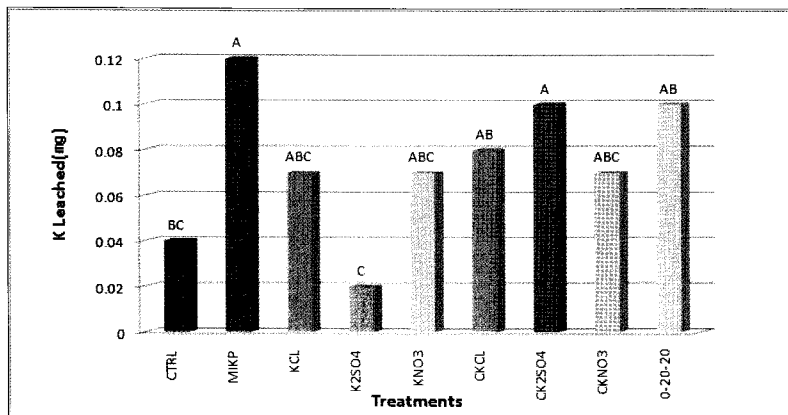


Fig. 4. Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the fourth leaching event, 8 weeks after application.

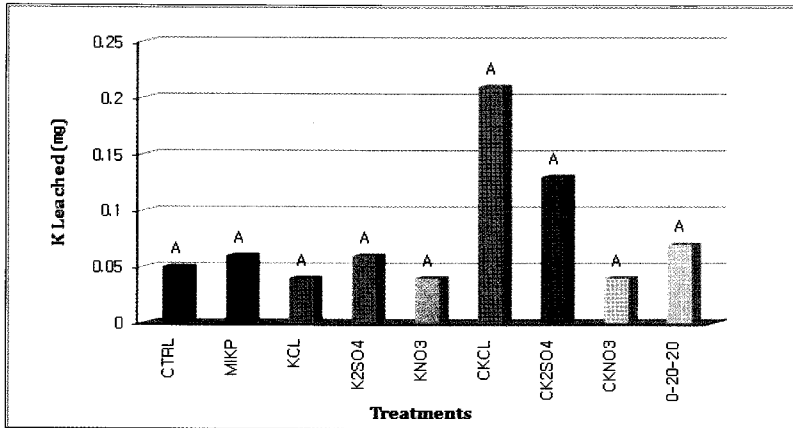


Fig. 5. Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the fifth leaching event, 10 weeks after application.

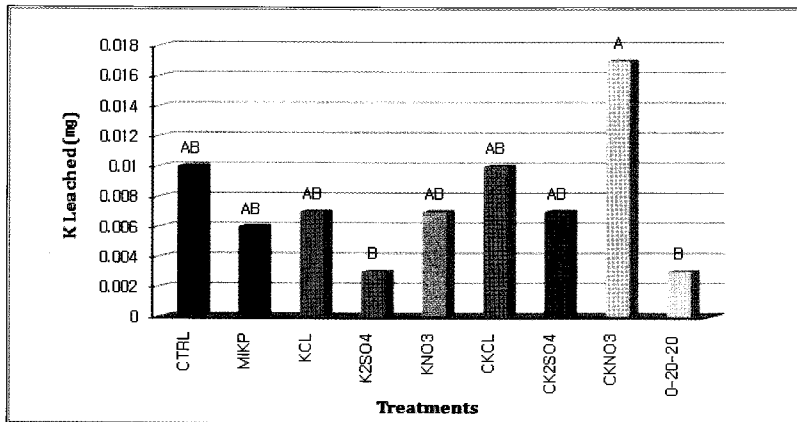


Fig. 6. Effect of applied K sources on the quantity of K leached during the sixth leaching event, 12 weeks after application.

용출시켰고, 0.006에서 0.007mg의 칼륨을 용출시켰다. 0-20-20과 K₂SO₄가 0.003mg을 용출시켰다.

Fig. 1에서 Fig. 6까지의 칼륨의 용출 결과를 합하여 용출 경향을 분석한 결과 Fig. 7에서 볼 수 있는 것처럼 코팅이 되지 않은 0-20-20 액비가 42mg으로 가장 많은 양의 칼륨을 용출시켰고, MKP, KCL, KNO₃가 각각 30.5, 28, 21mg으로 두 번째로 많은 양의 칼륨을 용출시켰다. 코팅이 안된 K₂SO₄와 코팅이 된 KCL, K₂SO₄, KNO₃가 각각 2mg, 1, 2, 0.3mg으로

매우 낮은 양의 칼륨을 용출시켰다.

Fig. 8은 Fig. 1부터 Fig. 7까지의 결과를 시간에 따른 각각의 칼륨 비료원의 용출 경향으로 집약해서 보여 주었다. Fig. 1에서 Fig. 7에서 볼 수 있었던 것처럼 사용된 칼륨 비료원에 관계없이 시비한지 4주 동안에 첫 번째와 두 번째 칼륨 용출 측정 기간 동안에 대부분의 용출된 칼륨이 용출되었음을 볼 수 있었고, 전반부 4주 동안에 두 번의 칼륨 용출 측정량에 비해, 6주, 8주, 10주, 12주의 용출 측정기간에는 용출된 칼륨의 양은 현저히 줄어

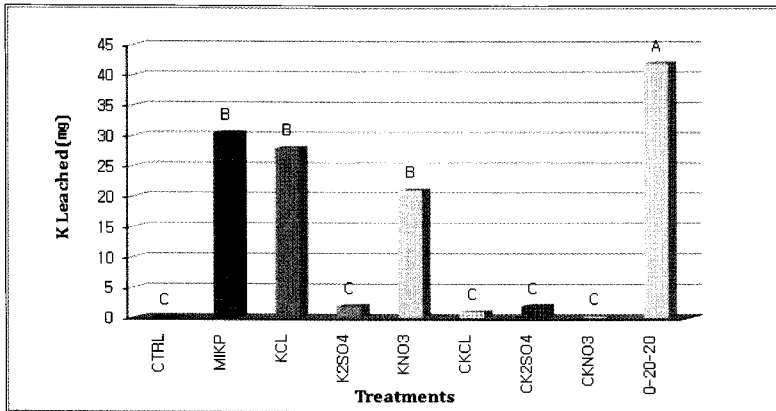


Fig. 7. Effect of applied K sources on the total quantity of K leached and accumulated during total six times leaching events, 12 weeks after application.

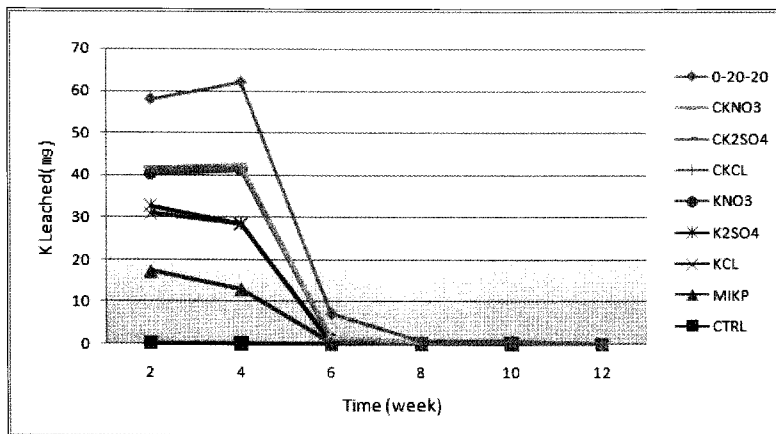


Fig. 8. Change of the quantity of K leached as applied by K fertilizers during the 12 weeks.

들었다는 것을 알 수 있었다(Fig. 8). 참고로 12주 동안 총 용출된 칼륨의 양을 비교해 보면, 0-20-20, MKP, KCL, KNO₃, K₂SO₄, CK₂SO₄, CKCl, CKNO₃의 순으로 각각 42mg, 30.5mg, 28mg, 21mg, 2mg, 2mg, 1mg, 0.3mg을 용출시켰다(Fig. 7).

총 건물 생산량

건물 생산량 및 칼륨 흡수량을 추정하기 위해 2주 간격으로 총 여섯 번의 tissue,

verdure, root 부분을 포함한 식물체 채집이 이루어졌다. 사용된 칼륨 비료원들간에 건물 생산량에 있어서 약간의 차이가 존재하였다 (Fig. 8). 다른 칼륨 비료원들 보다 K₂SO₄의 처리로 부터 상당히 적은 양의 건물 중량이 얻어졌는 데 이유는 설명하기 어렵지만 대략 불량 제품이거나 적은양의 K₂SO₄가 처리 되었을 가능성이 있다. 대략적으로, 칼륨 비료로 처리되지 않은 대조군에 비해 처리된 실험군에서 약 두 배 정도 많은 건물중량이 생산되

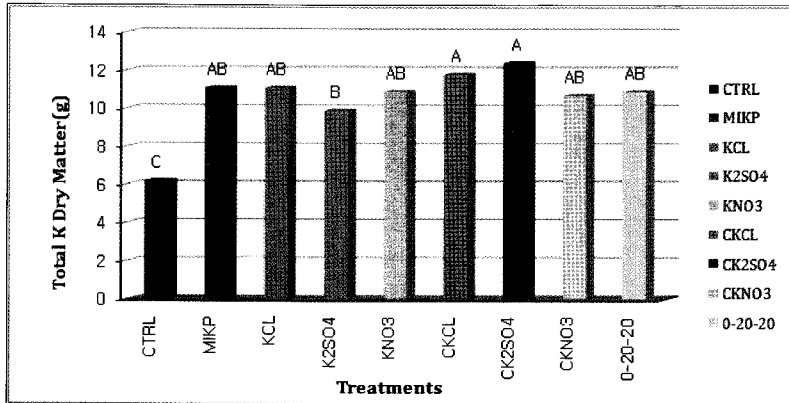


Fig. 9. Effects of K sources on the total dry matter of bermudagrass.

었다. 코팅이 된 칼륨 비료원들에 대한 식물체의 반응은 칼륨이 지속적으로 방출되고 식물체에게 이용 가능하게 되어 용출로 인한 영양분 손실은 크지 않을 것으로 사료된다.

전체 식물체 칼륨 흡수

전체 칼륨 흡수는 잔디 tissue, verdure, root에 기초한다. K₂SO₄를 제외한, 칼륨 비료원들은 버뮤다그래스에 의해 흡수된 칼륨의 전체 양에 영향을 주지 않았다(Table 2, Figure 10). 평균적으로, 실험에 사용된 잔디 버뮤다그래스는 시비된 칼륨의 82%인 약 214mg을 흡수 측정 했다. 코팅된 칼륨 비료

원들은 코팅이 되지 않은 용해성 칼륨 비료원들 보다 칼륨을 용출 시키지 않았지만, 용출되지 않은 칼륨이 식물체 조직에 부가적으로 흡수로 나타나지는 않았다. 이 연구는 다양한 칼륨 비료원들을 사용하여 용출된 칼륨의 특징을 알아보기 위한 실험으로 보통 비료 실험보다 충분한 양의 칼륨을 시비하였기 때문에, 칼륨은 제한 인자가 아니었고, 사용된 칼륨의 양은 식물체 잔디가 필요로 되는 최소한의 양보다 많은 양을 공급한 것으로 사료된다.

칼륨 회수율(K recovery efficiency)

Table 2 에서 보는 것처럼 칼륨 비료원에

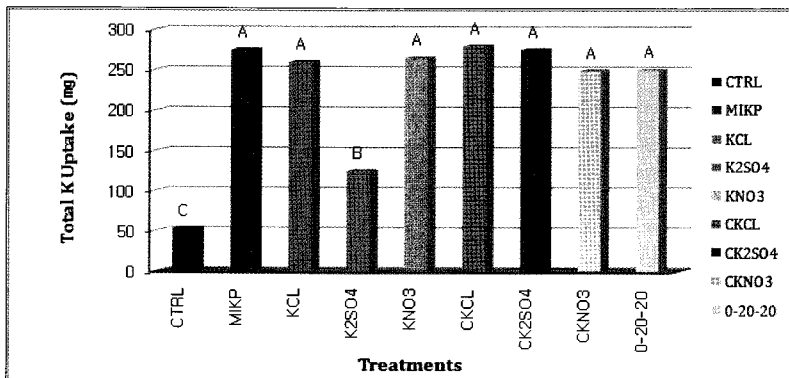


Fig. 10. Effect of K sources on the total K uptake of bermudagrass.

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

칼리 비료원*	전체 식물체 흡수	토양	용출	전체	회수율
	-----mg K lysimeter ⁻¹ -----				%
MKP	275.2a**	67.8ab	30.7b	373.1a	104
KCl	259.8a	63.3ab	28.9b	352.1a	96
K ₂ SO ₄	123.4b	65.7ab	1.7c	190.8b	34
KNO ₃	264.3a	58.4ab	21.1b	343.8a	93
CKCl	281.6a	73.8a	0.9c	356.3a	97
CK ₂ SO ₄	280.4a	47.8ab	1.9c	330.1a	87
CKNO ₃	249.2a	67.7ab	0.4c	317.2a	82
0-20-20	249.3a	43.8b	42.3a	335.4a	89
Control	51.6c	50.9ab	0.4c	102.9b	

대한 회수율의 범위는 비교적 우수했고 개별적인 차이가 존재하였다. MKP가 104%의 가장 높은 회수율을 보여주었고, 그 다음이 코팅이 된 KCl로서 97%의 회수율을, KCl은 96%, KNO₃는 93%, 0-20-20은 89%, 코팅이 된 K₂SO₄는 87%의 회수율을 보여 주었다. 코팅이 된 KNO₃는 82%의 회수율을 보여주었다. 34%의 매우 낮은 회수율을 보여준 K₂SO₄를 제외하고, 전체적으로, 82%에서 104% 범위의 회수율을 보여 주었다. 참고로, 회수율 계산은 다양한 칼륨 비료원들로부터 대조군으로부터 회수된 양을 빼서 시비된 칼륨의 양(260mg)으로 나누어서 계산되었다.

결론

사용된 상업용 칼륨 비료원은 모두 식물체 흡수와 토양 보유능에 비교적 약간의 차이가 있었던 것으로 사료된다. 그러나, 칼륨의 용출 실험에서 사용된 다양한 칼륨 비료원들 사이에는 큰 차이가 관찰되었다. 특히 0-20-20 액체 비료원이 가장 많은 양의 칼륨을 용출시켰고, 그 다음으로 MKP, KCl, KNO₃의 순서였다. 코팅이 된 모든 칼륨 비료원들(CKCl,

CKNO₃, CK₂SO₄)은 매우 적은 양의 칼륨을 용출시켰다. 칼륨의 회수율은 대략 80%를 초과하여 사용된 칼륨 비료원들 간에는 큰 차이가 발견되지 않았다. 칼륨 비료원과 관련된 음전하는 미국골프협회에서 규정한 혼합물에 의해서 보유되지 않고 용출된 칼륨의 양에도 영향을 주지 못하였다.

요약

일반적으로, 골프장의 퍼팅그린(putting green)지역에서 사용되는 토양은 매우 낮은 CEC(양이온치환용량)와 알루미늄 및 철 수산화물의 코팅이 없는 모래로 이루어진 근권 혼합물로 구성되었다. 이러한 성질로 인해서, 그린 토양에 의한 칼륨(K)의 보유는 극히 제한될 수 밖에 없다. 새로운 상업용 칼륨 비료는 골프장의 그린지역에서 적절한 칼륨의 유지에 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 잔디 품종 'Floradwarf' bermudagrass(*Cynodon dactylon* L. Pers.)을 유리 온실에서 재배하면서 상업용 칼륨 비료의 용출(leaching)과 영양분 공급 잠재력을 평가하였다. 전체 12주의 실험기간 동안 격주로 칼륨의 농도를 측정하

기 위해 절취된 잔디와 용출액이 수집되었다. 깎여진 잔디는 48시간 동안 70°C에서 건조되었고 건조중량 측정이 이루어졌다. K_2SO_4 를 제외한, 사용된 칼륨 비료원들은 bermudagrass의 성장에 주목할 만한 차이를 보여 주지 못했다. 그러나 첫 번째 와 두 번째 용출액 수집 기간 동안에 칼륨의 용출은 큰 차이가 관찰되었다. 코팅이 되지 않은 0-20-20 액체 비료가 가장 많은 양의 칼륨을 용출시켰고, 두 번째로, MKP, 세번째로 KCL, 네 번째로 KNO_3 가 칼륨을 용출시켰다. 코팅이 된 칼륨 비료원들(CKCL, $CKNO_3$, CK_2SO_4)이 가장 적은 양의 칼륨을 용출시켰다. 사용된 칼륨 비료원들에 관계없이 첫 번째 세 번의 용출 수집기간 동안에 칼륨의 80%가 용출되었다. 용출된 칼륨의 양 및 건조중량과 영양분 칼륨의 흡수와는 상관관계가 관찰 되지않았다. 칼륨의 회수율은 82%에서 104% 까지 분포하였다. 그러므로, 사용된 코팅이 된 칼륨(K) 비료원들(CKCL, $CKNO_3$, CK_2SO_4)이 환경친화적인 칼륨(K) 비료원들로 사료되고 추천된다.

주요어 : 건조량, 라이시미터(lysimeter), 식물체 흡수, 용출(leaching), 잔디토양, 칼륨(K)비료

참고문헌

1. 정근욱, 백기태, 고성환, 노재관, 이경호, 우선희. 2008. 골프장의 잔디토양에서 인산비료의 이동성 평가를 위한 정보구축. 한국콘텐츠학회지8(8): 285-292.
2. Ott, Liman. 1989. An introduction to statistical methods and data analysis. 3rd ed. PWS-KENT.
3. Sadusky, M.C. and D.L. Sparks. 1991. Anionic effects of potassium reactions in variable-charge Atlantic Coastal Plain soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:371-375.
4. Voet, Donald and Judith G. Voet. 1990. Biochemistry. John Wiley and Sons, NewYork.
5. Jones, Ulysses S. 1979. Fertilizers and soil fertility. Reston Publishing Company. Virginia.
6. Christians, Nick. 1998. Fundamentals of turfgrass management Ann Arbor Press, MI.
7. Weavers, R.W. J. S. Angle and P.S. Bottomley. 1994. Methods of soil analysis. Part II. Soil Science Society of America. USA
8. Zeiger, Taiz. 1998. Plant Physiology. 2nd. ed. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts.
9. Mengel, Konrad, Ernest A. Kirkby. 1978. Principles of plant nutrition. AG Bern, switzerland.
10. SAS Institute, Inc. 1989. SAS user's guide: statistics, SAS system Version 6. 4th ed. SAS Institute, Inc., Gary, NC.
11. Tisdale, Samuel L., Werner L. Nelson, James D. Beaton. 1985. Soil Fertility and Fertilizer, 4th ed. MacMillan Publishing Company, New York.