

질소와 인산의 시비량이 새로 조성된 Kentucky Bluegrass에 성장에 미치는 영향

이상국*

호서대학교 기초과학연구소

Phosphorus and Nitrogen Rate Effects to a Newly Seeded Kentucky Bluegrass

Sang-Kook Lee*

Research Institute for Basic Sciences, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

ABSTRACT. Professional turfgrass applicators have reduced or eliminated phosphorus from their fertilization programs based on the assumption that soil phosphorus levels are supplying adequate amounts of phosphorus to the turfgrass. The previous researchers found that there were no P effects for turfgrass growth especially for mature turf. No effects may result from high P level in heavy thatch layer. The research was conducted for one year to investigate the effects of phosphorus fertilization programs on turfgrass performance, and monitor soil and plant tissue nutrient levels to determine the impact of the programs on a newly seeded Kentucky bluegrass. The nitrogen treatments were 20, 30 and 40 g m⁻² yr⁻¹. The low, medium, and high nitrogen treatments were applied over 2, 4 and 6 applications, respectively. Nitrogen was applied using a formulation containing 30% of slow and 70% of fast release nitrogen sources that are representative of typical home lawn fertilizers. The phosphorus treatments were 0, 10 and 20 g m⁻² yr⁻¹. Phosphorus was applied according to the application schedule for the nitrogen treatments. Kentucky bluegrass was seeded in May, 2010. The thickness of thatch layer was less than 1 cm and the first treatment was applied to Kentucky bluegrass in April, 2011. The low N rate treatment had acceptable color and quality ratings without high clipping yields. The high N rate treatment consistently had the highest color and quality ratings but also had very high clipping yields in comparison to the low and medium N rate treatments. Although there are significant differences in tissue P, Overall, there was no effect of phosphorus on color, quality, or clipping weights.

Key words: Kentucky bluegrass, Phosphorus, Thatch layer, Turfgrass color, Turfgrass quality

서 론

인산(P)은 식물체 성장을 위한 17가지 필수 영양소 중 한가지이며 또한 질소와 칼륨과 더불어 식물이 가장 많이 필요로 하는 주요원소 중 하나이다. 인산은 식물체 내에서 에너지의 이동과 유전적인 물질을 형성하며, 주로 뿌리의 성장과 씨앗의 형성에 관여하는 것으로 알려져 있다 (Christians, 2011; Marschner, 1995). 그 외에도 인산의 기능에 대해서는 많은 연구결과가 보고되어 왔다. 인산은 지상부와 지하부의 성장을 촉진시키며(Juska et al., 1965), 그 외에도 인산시비량을 결정 할 때 지표가 되는 것 중

하나는 토양분석을 통해 토양속내 인산함량을 측정하는 것이다. 그러나 토양분석 결과가 나왔다 할지라도 시비량을 결정 할 때는 질소기준으로 시비가 되는 것이 일반적이다. 결과적으로 인산이 필요하지 않은 토양에서도 인산은 지속적으로 토양으로 공급이 되어 토양에 인산이 축적되는 결과를 초래하고 있다. Carrow et al. (2001)에 의하면 Olsen P test의 경우 잔디의 성장에 필요한 토양의 인산함량이 29 mg kg⁻¹ 이상이면 높은 것이며 7 mg kg⁻¹ 미만이면 낮은 것으로 보고하였다. Nemitz et al. (2006)는 총 102가정의 잔디밭의 인산함량을 조사하였다. 그 결과 102 가정 중 45%가 넘는 토양이 적정 범위의 한계치인 25 mg P kg⁻¹ 보다 높은 양의 인산이 검출 되었다. Soldat et al. (2005)는 803개의 표본을 가정의 잔디밭과 경기장들로부터 채취하여 토양속의 인산의 함량을 측정하였다. 그들은 채취된 모든 토양 중에서 19%가 넘는 토양속에서 20 mg P

*Corresponding author; Tel: +82-41-540-5879

E-mail : sklee@hoseo.edu

Received : Aug. 14, 2011, Revised : Aug. 27, 2011, Accepted : Sep. 5, 2011

Table 1. Treatments showing nitrogen and phosphorus rate and application frequency.

Treatment	Rate ^z		Application month						
	N	P ₂ O ₅	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.
Low N + No P	20	0	10:0 ^y		10:0				
Low N + Medium P	20	10	10:5		10:5				
Low N + High P	20	20	10:10		10:10				
Medium N + No P	30	0	7.5:0		7.5:0		7.5:0		7.5:0
Medium N + Medium P	30	10	7.5:2.5		7.5:2.5		7.5:2.5		7.5:2.5
Medium N + High P	30	20	7.5:5		7.5:5		7.5:5		7.5:5
High N + No P	40	0	6.7:0	6.7:0	6.7:0	6.7:0	6.7:0	6.7:0	6.7:0
High N + Medium P	40	10	6.7:1.7	6.7:1.7	6.7:1.7	6.7:1.7	6.7:1.7	6.7:1.7	6.7:1.7
High N + High P	40	20	6.7:3.4	6.7:3.4	6.7:3.4	6.7:3.4	6.7:3.4	6.7:3.4	6.7:3.4

^z Units are g m⁻² yr⁻¹.

^y Rate of single application for N and P₂O₅ (N: P₂O₅). Units are g m⁻².

kg⁻¹ 보다 많은 인산이 검출되었다고 보고하였다. 이와 같이 장기간 축적된 토양속의 인산은 토양의 함께 하천으로 유실되어 표면수를 오염시켜 부영양화 현상이 발생하기도 한다(Cassell et al., 1998). 이러한 현상으로 발생하는 부영양화는 식용수의 자원을 제한하고 하천의 생태계를 파괴하기 때문에 최근의 동향은 인산시비량을 줄이기 위한 방향으로 연구가 이루어지고 있다(Rosen and Horgan, 2005). 인산의 시비량을 줄이기 위한 연구로는 토양의 종류와 인산의 손실, 토양개량제와 인산비료의 종류, 인산의 손실을 막기 위해 토양의 유실 방지등 이 있다(Cole et al., 1997; Lowrance and Sheridan, 2005; Stout et al., 2000; Turner and Haygarth). 그러나 우리나라에서는 아직까지 인산시비에 대한 잔디의 생육반응에 대한 연구결과가 제한적이며 또한 산업에서도 인산의 시비량이 고려되지 않은 상태에서 질소의 시비량을 기준으로 복합비료가 사용되기 때문에 하천 오염에 대한 가능성이 커지고 있는 것이 현실이다. 환경보호와 잔디관리의 비용을 줄이기 위해 복합비료의 사용이 아닌 각각의 성분만을 시비하는 프로그램의 개발이 필요한 시점에 있다. 본 연구에서는 인산의 세가지 시비율을 포함한 시비 프로그램에 새로 조성된 Kentucky bluegrass의 생육에 미치는 영향에 대해서 조사하기 위해서 실험이 수행되었다.

재료 및 방법

본 연구는 2011년 4월부터 11월까지 충남 병천에 소재한 버드우드 골프클럽에서 수행이 되었으며 실험을 위해서 Kentucky bluegrass 'midnight'가 2010년 4월에 파종되어 조성되어 1년간 관리되었다. 각 처리구는 1.5×2 m로 조

성이 되었다. 질소시비를 위하여 속효성과 완효성 질소원으로 Urea 70%와 Sulfur Coated Urea (SCU) 30%를 사용하였다. 시비량은 소량, 중량, 다량의 3 농도로 각각 20, 30, 40 g m⁻² yr⁻¹을 연간 2, 4, 6회에 나누어 시비하였다. 실험을 위한 최소 시비일은 2011년 4월 8일이에 수행되었다. 질소는 인산시비시 포함되어 있는 질소의 양을 제외한 양이 시비되었다. 인산은 (주)동부한농의 동부비료(10-9-9)를 사용하였으며 시비량은 총 0, 10, 20 g m⁻² yr⁻¹을 시비하였다. 인산의 시비시기는 질소와 같이 시비가 되었으며 인산의 매회 시비량은 질소시비 횟수에 의해서 계산되어 시비되었다. 질소와 인산의 시비량과 시비시기는 Table 1과 같다. Kentucky bluegrass의 관리는 5 cm 높이로 매 주 예초가 이루어졌으며 예초시 예지물의 건물중 측정을 위해서 예지물은 수거가 되었으니 측정이 되지 않을 때는 수거가 되지 않고 실험구의 토양으로 회수 되었다. 관수는 잔디의 상태와 기상 조건에 따라 변화가 있었으나 일주일에 3 cm 수준으로 이루어졌다. 여름철 고온기에 질소와 인산의 시비시는 시비 직후 비해를 막기 위해 추가 관수가 이루어졌다. 잔디생육에 대한 질소(와 인산)의 시비효과를 측정하기 위하여 National Turfgrass Evaluation Program (NTEP) 에서 제시한 잔디의 품질과 색을 시각적 평가를 통해 2주마다 측정되었다(Turf quality 1=worst, 9=best, and 6=acceptable, Turf color 1=straw brown, 9=dark green, and 6=acceptable). 잔디의 지상부 성장률을 측정하기 위하여 예지물이 각각의 처리구로부터 2주마다 수거가 되었으며 수거된 예지물은 68°C에서 48시간 건조된 후 건물중이 측정되었다. 토양속의 인산함량을 측정하기 위해서 처리 전과 후에 토양표본이 채취되어 토양분석이 이루어졌다. 분석된 토양 pH 6.2에 따라 인산분석은

Table 2. Analysis of variance for turfgrass color, quality and clipping dry weight.

Sources	df	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
----- Turfgrass color -----								
N rate (NR)	2	NS	**	**	**	**	**	**
P rate (PR)	2	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
NR x PR	4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
----- Turfgrass quality -----								
N rate (NR)	2	NS	**	**	**	**	**	**
P rate (PR)	2	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS
NR x PR	4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
----- Clipping dry weight -----								
N rate (NR)	2	**	**	**	**	**	**	**
P rate (PR)	2	NS	NS	NS	*	**	NS	NS
NR x PR	4	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

* indicates significant difference at $P=0.05$
 ** indicates significant difference at $P=0.01$
 NS indicates not significant differences at $P=0.05$

Bray P1 분석을 통해 분석이 되었다(Bray and Kurtz, 1945). 실험은 randomized complete block design 으로 설계가 되었으며 4반복으로 이루어졌다. 통계처리는 Statistical Analysis System (SAS, 2001)을 이용하여 분석이 되었으며, 처리구 평균간 유의성검정은 Fisher's LSD procedure 5% 수준에서 실시하였다.

결과 및 고찰

본 실험기간 동안 잔디의 색, 품질, 예지물 건물중에 대한 질소와 인산시비량 처리간의 상호작용은 발견되지 않았다(Table 2). 그러나 질소시비량에 대한 잔디의 색, 품질, 예지물 건물중의 유의성이 차이를 보였으며, 인산처리구의 경우 8월에 측정된 잔디의 품질 그리고 8, 9월에 측정된 예지물 건물중에서만 그 유의성이 발견되었다. 질소시비에 대한 잔디품질에 대한 효과는 5월을 제외하고 모두 발견이 되었다(Table 3). 특히 질소 시비량 소, 중, 다량 모두의 경우 실험기간 동안 소량에 의한 11월의 잔디품질을 제외하고 모두 최소수용품질인 6 이상의 결과를 보였다. 질소의 증량과 다량의 경우 6, 8월을 제외하고 실험기간동안 그 시비량에 대한 유의차가 발견되지 않았다. 그러나 소량의 경우 실험기간중 5, 7, 8월을 제외하고 증량, 다량과 유의차가 발견이 되었다. 잔디의 품질에서 소량이 증량, 다량과의 유의차가 발견되었다 할지라도 실험기간동안 소량으로도 11월을 제외하고 최소수용품질 6 이상의 품질을 유지하였다. 인산의 경우 시비량에 따라 잔디의 품질의 효과는 실험기간중 8월을 제외하고 그 유의성이 나타나지

Table 3. Mean turfgrass quality for nitrogen rate main effect.

N rate ^z	Turfgrass quality						
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
20	8.0 ^y	7.1 b ^x	7.0 b	6.5 b	6.5 b	6.0 b	5.6 b
30	8.0	7.2 b	7.5 a	6.9 b	7.2 a	7.5 a	7.4 a
40	8.0	8.0 a	7.4 a	7.5 a	7.4 a	7.8 a	7.6 a

^zN rate units are $g\ m^{-2}$
^yKentucky bluegrass quality was rated from 1 to 9 (1 = worst, 9 = best, and 6 = acceptable).
^x Means in a column followed by the same letter are not significantly different according to Fisher's LSD ($P=0.05$).

Table 4. Mean turfgrass quality for phosphorus rate main effect.

P ₂ O ₅ rate ^z	Turfgrass quality						
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
0	8.0 ^y	7.4	7.2	6.8 b ^x	7.0	7.5	7.0
10	8.0	8.0	7.5	7.3 a	7.4	7.8	7.3
20	8.0	8.0	7.5	7.3 a	7.1	7.5	7.5

^zP₂O₅ rate units are $g\ m^{-2}$
^yKentucky bluegrass quality was rated from 1 to 9 (1 = worst, 9 = best, and 6 = acceptable).
^x Means in a column followed by the same letter are not significantly different according to Fisher's LSD ($P=0.05$).

않았다(Table 4). 인산시비량에 따른 잔디의 품질 반응에 있어서 인산이 시비되지 않은 처리구를 포함한 모든 처리

Table 5. Mean turfgrass clipping dry weight for nitrogen rate main effect.

N rate ^z	Clipping dry weight						
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
20	14.5 ^y c ^x	21.4 c	15.2 c	9.5 b	10.7 c	12.3 c	13.6 c
30	18.6 b	26.9 b	22.4 a	15.4 a	15.8 b	16.4 b	16.8 b
40	24.2 a	31.2 a	26.1 a	17.2 a	17.7 a	19.5 a	18.4 a

^zN rate units are g m⁻²

^yClipping dry weight units are g m⁻².

^x Means in a column followed by the same letter are not significantly different according to Fisher's LSD (P=0.05).

구에서 실험기간동안 최소유의품질 6 이상의 품질을 유지하였다. 질소시비에 따른 예지물 건물중의 양은 실험기간 동안 모든 측정일에서 그 유의성이 발견되었다(Table 5). 고온기간인 7, 8월에는 중량과 다량의 차이가 나타나지 않았지만 그 외의 모든 기간에서는 다량의 질소시비가 중량

Table 6. Mean turfgrass clipping dry weight for phosphorus rate main effect.

P ₂ O ₅ rate ^z	Clipping dry weight						
	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.
0	20.7 ^y	22.1	18.2	10.3 b ^x	9.4 c	14.5	12.8
10	22.5	24.5	18.7	12.5 b	11.5 b	16.1	13.5
20	24.6	25.3	19.4	16.2 a	18.1 a	20.4	14.1

^zP₂O₅ rate units are g m⁻²

^yClipping dry weight units are g m⁻².

^x Means in a column followed by the same letter are not significantly different according to Fisher's LSD (P=0.05).

보다 예지물 건물중을 1.6에서 5.6 g m⁻² 을 더 많이 생산한 것으로 나타났다. 특히 가을인 10, 11월 보다 5, 6월에 그 차이가 더 큰 것으로 나타났다. 그러나 인산시비량에 따른 예지물 건물중의 차이는 8, 9월을 제외하고 실험기

간동안 그 유의차가 발견되지 않았다(Table 6). 인산이 다량 처리된 실험구에서 생산된 예지물 건물중이 인산이 처리되지 않은 실험구보다 8, 9월에 각각 5.9, 8.7 g m⁻² 만큼 더 생산되었지만 그러나 다른 기간에는 그 유의차가 발견되지 않았다.

잔디의 성장에 질소의 영향은 많은 연구를 통해서 보고가 되어왔다. 그러나 최근의 연구결과에서 여러 잔디의 종류에서 조성된 잔디에서는 인산의 영향이 없는 것으로 보고가 되고 있다(Lee, 2009; Nus et al., 1993; Turner, 1980). 본 실험에서도 잔디의 성장에 대한 인산의 영향은 발견되지 않았다. Lee (2009)에 의하면 Sodding으로 조성된 Kentucky bluegrass 에서 인산의 영향은 3년동안 발견되지 않았다. 이것은 thatch 층을 조사한 결과 thatch 층의 두께가 약 3.8 cm 였으며 인산의 함량이 58 mg kg⁻¹ 으로 조사되었다. 본 실험에서는 thatch 층의 두께가 1cm 미만으로 thatch층에 토양은 거의 포함되지 않았다(Pic. 1). 얇은 thatch 층에서도 1년동안의 실험에서 Kentucky bluegrass의 성장에 대한 인산의 영향은 나타나지 않았다. Thatch 층에 포함된 인산의 양의 정도에 상관 없이 이미 조성된 Kentucky bluegrass의 성장에는 그 영향이 없는 것으로 나타났다. 인산의 시비 프로그램을 위해서 토양분석을 하는 것이 일반적이나 이미 조성된 Kentucky bluegrass에는 필요하지 않다는 것이다. 이 결과는 선행된 많은 연구와 일치된 결과를 보여주고 있다. 본 실험은 한해동안 이루어진 실험으로 장기간 동안 인산시비가 이루어지지 않았을 때 인산시비가 필요한 시기를 결정하기 위해서는 그 연구결과가 부족하며 잔디의 성장에 필요한 최소 인산시비량과 빈도를 결정할 수 있는 장기간의 실험이 요구된다. 그러나 주변 하천의 표면수 오염의 주된 원인이 인산이라는 측면에서 본 실험의 결과로 고려할때 잔디의 성장에 직접적인 영향이 없는 인산의 축적을 피하기 위해 현재 우리나라의 잔디산업에서 많이 사용되고 있는 복합비료의 사용보다는 요소와 같이 각각의 한가지 원소를 포함한 제품에 대한 필요성이 고려된다.



Pic. 1. Pictures of thatch thickness for Kentucky bluegrass taken for this study in September, 2011 (Left) and the study (Lee, 2009) in November, 2006 (Right).

요 약

최근 잔디관리를 위한 시비프로그램에서 인산의 사용량을 줄이기 위한 연구가 많이 진행 되고 있다. 토양의 인산함량이 식물성장을 위해서 충분히 존재하더라도 시비프로그램은 질소의 양을 기준으로 이루어져 있기 때문에 인산이 불필요 하더라도 질소와 같이 시비되는 것이 일반적이다. 많은 선행연구에서 이미 조성된 잔디에서는 토양내 인산함량의 조건에 상관없이 인산의 영향이 발견되지 않았다. 이것은 뗏장으로 조성된 켄터키블루그래스의 대취층에 많은 인산의 함량이 발견되었기 때문이다. 본 연구에서는 대취층을 최소화 하기위하여 파종하여 새로 조성된 켄터키블루그래스의 성장에 질소와 인산의 영향을 측정하기 위해서 수행되었다. 질소의 시비량은 소량, 중량, 다량으로 각각 20, 30 and 40 g m² yr⁻¹로 되었으며 시비 횟수를 각각 2, 4, 6회로 구성되었다. 인산의 시비량은 0, 10 and 20 g m² yr⁻¹로 되었으며 인산은 질소시비와 함께 이루어 졌다. 소량의 질소시비는 실험기간 동안 최소수용 품질을 유지 하였으며 가장 적은 예지물을 생산하였다. 다량의 질소시비는 가장 좋은 잔디 품질을 나타내었다. 그러나 실험기간 동안 켄터키블루그래스의 성장에 대한 인산의 일관적인 영향은 발견되지 않았다. 두꺼운 대취층에 조성된 켄터키블루그래스의 성장에 인산의 영향이 없는 것과 동일하게 새로 조성된 켄터키블루그래스의 성장에도 인산의 영향은 일년 동안 발견되지 않았다.

주요어: 대취층, 인산, 잔디품질, 질소, 토양분석, 켄터키 블루그래스

감사의 글

본 연구는 2010-2011년 한울스포츠잔디의 산학협력 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 본 연구가 수행되기 위해 지원을 아끼지 않은 관계자 여러분께 감사의 뜻을 전합니다.

참고문헌

- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59:39-45.
- Carrow, R.N., D.V. Waddington, and P.E. Rieke. 2001. Turfgrass soil fertility and chemical problems: Assessment and management. Ann Arbor Press, Chelsea, MI.
- Cassell, E.A., J.M. Dorioz, R.L. Kort, J.P. Hoffman, D.W. Meals, D. Kirschtel, and D.C. Baum. 1998. Modeling phosphorus dynamics in ecosystems: Mass balance and dynamic simulation approaches. *J. Environ. Qual.* 27:293-298.
- Christians, N. E. 2011. Fundamentals of turfgrass management. 4th ed. Wiley & Sons Inc. Hoboken, NJ.
- Christians, N. E. 1996. Phosphorus nutrition of turfgrass. *Golf course Manage.* 64(2):54-57.
- Christians, N. E, D. P. Martin, and K. J. Karnok. 1979. Interrelationships among nutrient elements on calcareous sand greens. *Agron. J. Abstracts.* p. 120.
- Cole, J. T., J.H. Baird, N. T. Basta, R. L. Huhnke, D. E. Storm, G. V. Johnson, M. E. Payton, M. D. Smolen, D. L. Martin, and J. C. Cole. 1997. Influence of Buffers on Pesticide and Nutrient Runoff from Bermudagrass Turf. *J. Environ. Qual.* 1997 26: 1589-1598.
- Juska, F. V., A. A. Hanson. C. J. Erickson. 1965. Effects of phosphorus and other treatments on the development of red fescue, Merion, and common Kentucky bluegrass. *Agron. J.* 57(1): 75-78.
- Lee, S. K. 2009. Determining nutrient and irrigation programs for turfgrass. Ph.D. Thesis: Michigan State University: East Lansing, MI.
- Liu, Min, J. B Sartain, L. E. Trenholm, and G. L. 2008. Phosphorus requirements of St. Augustinegrass grown in sandy soils. *Crop Sci.* 48(3):1178-1186.
- Lowrance, R. and J.M. Sheridan, 2005. Surface runoff water quality in a manged three zone riparian buffer. *J. Environ. Qual.* 34:1851-1859.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. New York: Academic Press.
- McVey, G. R. 1967. Response of Turfgrass Seedlings to Various Phosphorus Sources. *Agron. J. Abstracts.* 59: p. 53.
- Nemitz, J. R., C. A. Bigelow, V. A. Caceres, and D. S. Richmond. 2006. Survey of home lawn soil phosphorous levels in Tippecanoe County Indiana. 2006 Annual Report: Purdue University Turfgrass Science Program. p.1-3.
- Nus, J. L, N. E. Christians, and K. L. Diesburg. 1993. High phosphorus applications influence soil-available potassium and Kentucky bluegrass copper content. *HortScience.* 28(6): p. 639-641.
- Pritchett, W. L. and G. C. Horn. 1966. Fertilization fights turf disorders. *Better Crops and Plant Food* 50(3): 22-25.
- Rosen, C. J. and B. P. Horgan. 2005. Regulation of phosphorus fertilizer application to turf in Minnesota: Historical perspective and opportunities for research and education. *International Turfgrass Society Research Journal.* 10 (Part 1): 130-135.
- SAS Institute Inc. 2001. The SAS system release 8.2 for Windows. SAS Inst., Cary, NC
- Soldat, D., A. M. Petrovic, and R. B Rao. 2005. Summary of soil

- test phosphorus results from home lawns and athletic fields in New York State: 2001 -2005. 2005 Annual Meeting Abstracts. p.1.
- Stout, W.L., A.N. Sharpley, and J. Landa. 2000. Effectiveness of Coal Combustion By-Products in Controlling Phosphorus Export from Soils. *J. Environ. Qual.* 29: 1239-1244.
- Turner, B. L. and P. H. Haygarth. 2000. Phosphorus forms and concentrations in leachate under four grassland soil types. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1090-1099.
- Turner, T. R. 1980. Soil test calibration studies for turfgrass establishment. Ph.D dissertation. Pennsylvania State University, University Park, PA.
- Waddington, D. V, T. R. Turner, J. M. Duich, and E. L. Moberg. 1978. Effect of fertilization on Penncross creeping bentgrass. *Agron. J.* 70(5): 713-718.
- Watschke, T. L., D. V. Waddington, D. J. Wehner, and C. L. Forth. 1977. Effect of P, K, and lime on growth, composition, and ³²P absorption by Merion Kentucky bluegrass *Agron. J.* 69(5): 825-828.
- Westfall, R. T. and J. A. Simmons. 1971. Germination and Seedling Development of Windsor Kentucky Bluegrass as Influenced by Phosphorus and Other Nutrients. *Agron. J. Abstracts.* 63: p. 52.