

土壤處理型 除草劑가 窒素肥料의 無機化作用에 미치는 影響

Ⅱ 발토양 조건

全北大學校 農科大學 農化學科

金 茂 基

The Influence of Some Soil-treated Herbicides on the Mineralization of Nitrogen Fertilizers

Ⅱ. In an upland soil

Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture
Jeonbug National University, Jeonju, Korea

Moo Key Kim

ABSTRACT

Effect of Simazine [2-chloro-4,6-bis (ethylamino)-s-triazine], Nitrofen (2,4-dichloro-4'-nitrodi-phenylether), Propanil (3,4-dichloropropionanilide), and Butachlor [2-chloro-2,6-diethyl N-(butoxy-menthyl) acetanilide] on urea hydrolysis and subsequent nitrification was investigated in an upland soil incubated at $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

1. All the herbicides tested had no effect on the hydrolysis of urea to ammonia at the recommended rates. Butachlor, at ten and fifty times the recommended rate, and Nitrofen, at fifty times the recommended rate, depressed urea hydrolysis, resulting in reduction of ammonia. But the depressive effects were temporary, disappearing soon. Simazine and Propanil had no detrimental effect on urea decomposition at all the treated rates.

2. Also, all the chemicals tested had no effect on the nitrification process at the recommended rates. At higher concentrations of ten and fifty times the recommended rate Butachlor and Nitrofen inhibited the oxidation of nitrite, and Propanil long inhibited the oxidation of ammonium to nitrite, but was inactive against nitrite oxidizer. These inhibitive effects of the chemicals, however, disappeared in the later period of incubation. Simazine had no effect on the nitrification process at all the treated rates.

3. The trend of change in soil pH of both the treated and untreated plots well reflected the change of soil nitrogen forms during incubation. No direct effect of the chemicals on soil pH was observed.

緒 言

土壤 중에서 窒素의 循環過程에 직접 관여하는 微生物

물들에 대한 除草劑의 影響을 調査하기 위한 研究
一環으로 著者는 湛水土壤條件에서 尿素와 同時에
處理된 몇 가지 除草劑가 尿素의 分解와 그 後의 變化

程에 미치는 영향을 調査하여 報告²⁾한 바 있다.

本 研究에서는 微生物學的 性質을 包含하여 澁水土壤의 特性이 澁水土壤과는 크게 다른 壤土壤을 택하여 前報에서와 같은 內容으로 微生物의 活動에 대한 藥劑의 影響을 調査하여 그 얻어진 結果를 報告하는 바이다.

壤土壤은 好氣的 狀態이기 때문에 存在하는 암모니아態 窒素가 쉽게 酸化되어 窒化作用의 現象이 뚜렷하므로 藥劑에 의한 阻害影響 여부가 分明하게 나타날 수 있고, 또 本 研究에서는 藥劑의 處理濃度를 크게 增加시키므로써 低濃度에서 不分明하게 나타나는 結果를 期待하지 않았다.

本 研究에서 1976년도 植物病防除學 學術研究補助費의 지원 研究의 一環으로 當 期間에 다시 한번 衷心으로 감사드리며, 本 研究의 遂行에 있어서도 始終 贊助하여 주신 農植承 授士님께 謹히 감사드리는 바입니다.

니다.

材料 및 方法

供試藥劑 Simazine [2-chloro-4,6-bis(ethylamino)-S-triazine], Nitrofen (2,4-dichloro-4'-nitrodiphenyl-ether), Propanil (3,4-dichloropropionanilide) 및 Butachlor [2-Chloro-2,6-diethyl N-(butoxymethyl) acetanilide]을 供試藥劑로 使用하였는데 Simazine 은 50% 水和劑, Nitrofen 과 Butachlor 는 各各 7%와 6% 粒劑를 使用하였으며, Propanil 은 35% 乳劑를 使用하였다.

供試土壤 全州市 德律洞 所在 全北大學校 農科大學 試驗圃에서 최근 몇 년동안 除草劑를 使用하지 않은 土壤의 表土를 採取하여 風乾시킨 후 2mm 체로 篩別한 것을 使用하였으며 그 理化學的 特性은 Table 1 과 같다.

Table 1. Physical and chemical analysis of the soil used

pH H ₂ O (1:1)	OM (%)	N (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	SiO ₂ (ppm)	Fe (ppm)	Exchangeable cation (me/100g)				CEC (me/ 100g)	Particle size distribution(%)				Textural Class
						K	Ca	Mg	Na		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	
5.5	1.23	0.03	23.4	12.37	9.75	0.34	0.39	0.35	0.28	11.80	8.03	22.85	29.08	30.04	LC

處理內容 供試土壤 50gr 을 250ml 삼각 flask 에 取하여 尿素를 100ppmN 수준으로 處理하고 供試藥劑 濃도를 實用濃度, 10배濃도의 10배 및 50배 水準으로 處理하였다. 모든 處理는 3 반복으로 하였으며 肥후 藥劑處理가 行해진 土壤을 最大容水量的 70%로 水分飽하여 20±1°C로 培養하면서 2주 間隔으로 암모니아態, 아질산態 및 질산態 질소의 變化와 pH의 變化를 測定하였다. 培養기간중 蒸발에 의한 水分減少는 수시로 蒸溜水를 補充하여서 항상 같은 水分含量을 維持하였다.

分析 및 測定 前報¹⁾에 準하였다.

結果 및 考察

尿素分解에 대한 影響 壤土壤에 施用된 尿素의 分解과 그 後의 窒化作用에 대한 供試藥劑의 影響을 Table 1에 표시하였다.

尿素의 分解結果 生成된 암모니아態 窒素의 經時的 變化를 보면 대조구의 경우 培養 1주째 가장 높은 濃도에 이르렀다가 3주째 부터 급격히 減少하기 시작하여 培養後期에는 극히 적은 양만이 檢出될 뿐이었다.

후기 3주 이후의 급격한 減少는 窒化作用의 影響이며 후기 少量으로 檢出되는 암모니아態 窒素는 원래 土壤중 存在하는 有機物의 無酸化에 의한 것으로 生成된다. 土壤 尿素의 分解는 處理量, 溫度, 水分, 土性, 地

力 및 土壤反應 등에 따라 다른데 壤土壤 條件에서 施用量이 過多하지 않은 때는 水分含量이 15내지 20% 정도일 때에도 10°C와 20°C 사이의 溫度에서는 대개의 경우 일주일내에 添加된 量의 80% 이상이 分解되는 것으로 報告¹⁰⁾되어 있으며 Laidler와 Hoard¹¹⁾는 30°C에서 尿素分解의 最適 pH는 6.2라고 하였는데 Gibson¹²⁾은 pH가 3.1에서 3.3에 이르는 極酸性 土壤 條件에서도 20°C 이상이면 잘 分解된다고 하였다. 尿素의 암모니아로의 分解는 암모니아가 窒化되는 過程보다 훨씬 빨라서 尿素가 存在하는 한 암모니아態 窒素는 土壤 中에 集積된다고 하였는데, 本 研究結果에서 나타난 암모니아態 窒素의 生成, 變化 傾向은 尿素分解에 대한 기왕의 報告들^{10,11)}과 잘 부합되고 있다.

藥劑處理의 경우 모든 藥劑가 實用濃度 水準에서는 尿素의 分解에 의한 암모니아의 生成, 變化에 있어서 대조구와 比較하여 아무런 差異를 나타내지 않고 있는 것은 澁水土壤條件에서의 研究結果¹²⁾와도 一致하고 있다. 實用濃도의 10배의 高濃度 水準에서 Butachlor 처리구는 1주와 3주에 암모니아態 窒素의 生成量이 적고 5주째에 대조구보다 많이 生成되었는데 이러한 影響은 實用濃도의 50배 濃度水準에서 더욱 뚜렷하여 藥劑에 의한 影響인 것이 분명하다. 그러나 이러한 抑制效果는 藥劑의 處理濃도에 正比例하여 增大하지는 않았으며 어느 경우에도 抑制效果는 일시적일뿐이어서 培養

Table 2. Effect of herbicides on hydrolysis and subsequent nitrification of 100 ppm nitrogen applied as urea in an upland soil

Chemical Dose (g./ 10a)	NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ and NO ₃ ⁻ -N formed after the treatment of the chemicals, weeks																								
	1	3	5	7	9	11	13	15																	
	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃										
0.6522	1.51	16.11	35.25	1.07	59.34	16.14	2.13	78.31	8.91	2.42	86.17	5.71	--	87.02	6.24	--	81.78	5.82	--	82.34	4.27	--	80.13		
Butachlor	180	66.01	1.47	15.72	35.79	1.54	58.95	16.27	2.41	77.15	8.53	3.12	86.72	6.04	--	86.95	6.57	--	82.09	5.43	--	82.78	4.51	--	81.17
1,800	55.83 [*]	9.72 [*]	9.84	30.07 [*]	10.24	50.75 [*]	25.72 [*]	3.15	66.24 [*]	0.07	2.31	87.03	5.04	--	86.97	6.12	--	82.51	5.01	--	83.07	4.71	--	80.47	
9,000	50.17 [*]	11.42 [*]	9.07	28.53 [*]	10.78	48.54 [*]	28.95 [*]	4.07	60.93 [*]	13.57	3.51	86.21	5.05	--	87.36	6.75	--	83.01	5.83	--	83.51	4.15	--	81.51	
0.6522	1.51	16.12	35.25	1.07	59.34	16.13	2.12	78.31	8.91	2.42	86.17	5.71	--	87.01	6.24	--	81.78	5.82	--	82.24	4.27	--	80.13		
Propanil	300	65.75	1.81	16.71	34.78	1.67	68.92	16.75	2.75	78.22	9.02	2.16	86.54	5.67	--	87.41	7.27	--	80.15	6.24	--	83.42	5.21	--	81.25
3,500	74.27 [*]	--	8.24	53.27 ^{**}	--	38.75	24.15 [*]	--	70.49	8.32	1.75	87.42	2.03	--	86.54	6.03	--	81.62	5.75	--	82.95	5.93	--	90.74	
17,500	78.02 [*]	--	2.53	75.12 ^{**}	--	19.65	55.41 ^{**}	--	39.73	56.98 ^{**}	--	41.53	34.27 ^{**}	1.54	57.62 ^{**}	25.47 ^{**}	2.11	56.36 [*]	5.14	--	83.46	4.78	--	82.05	
0.6512	1.51	19.12	35.25	1.07	59.34	16.13	2.12	78.31	8.91	2.42	86.17	5.71	--	87.02	6.24	--	81.78	5.81	--	82.24	4.27	--	80.13		
Simazine	50	66.23	1.72	15.21	35.78	1.53	58.17	15.74	2.17	79.03	8.75	2.78	85.49	5.92	--	87.13	6.13	--	83.18	6.02	--	82.71	4.53	--	80.72
500	66.78	1.47	16.21	35.13	1.08	58.53	14.58	2.87	77.53	8.01	2.11	83.78	6.75	--	86.47	5.25	--	80.75	6.21	--	81.53	4.55	--	81.24	
2,500	65.11	1.03	15.03	34.51	1.24	57.12	15.13	2.49	76.79	7.24	1.05	84.13	7.24	--	85.21	6.81	--	81.13	5.42	--	81.78	5.27	--	82.07	
0.6522	1.51	16.12	35.25	1.07	59.34	16.13	2.12	78.31	8.91	2.42	86.17	5.71	--	87.02	6.24	--	81.78	5.82	--	82.24	4.27	--	80.13		
Nitrofen	210	35.37	1.37	16.75	36.21	1.28	58.41	15.78	1.95	79.12	8.24	1.92	87.11	5.42	--	87.41	6.73	--	81.92	6.21	--	83.01	4.78	--	81.02
2,100	66.07	6.45	10.61	35.54	5.72	54.26	16.01	2.31	78.27	9.02	2.54	86.54	5.91	--	88.01	6.21	--	82.04	5.72	--	82.72	5.03	--	80.68	
10,500	57.24 [*]	9.49	10.23	29.78 [*]	7.59	52.14 [*]	27.03 [*]	2.86	68.32 [*]	9.27	2.65	86.97	6.24	--	87.25	6.78	--	82.54	6.48	--	83.24	4.15	--	81.71	

* Significantly different from the control at the 5% level

** Significantly different from the control at the 1% level

기간이 經過하면서 정상수준으로 회복될 수 있었다. Nitrofen은 實用濃度の 50배의 高濃度水準에서만 分解抑制效果를 일시적으로 인정할 수 있었으며 Propanil과 Simazine은 모든 處理水準에서 分解抑制效果를 인정할 수 없었다. 土壤중 尿素의 分解는 除草劑 以外的 다른 農藥劑에 의해서도 크게 阻害되지 않는다는 보고^{5,21)}도 있다. Propanil의 高濃度處理구에서의 암모니아태 窒素의 현저한 集積 현상은 藥劑의 窒化抑制效果 때문인 것이 분명하다.

窒化作用에 대한 影響 窒態窒素은 대조구에서 培養 3주에서부터 암모니아태 질소보다 많아지기 시작하여 培養 中期까지 급증, 7주와 9주에 가장 높은 濃도에 이르렀다가 그 후로는 점차 減少되었다. 아질산태 窒素은 培養中期까지 스량으로 檢出되다가 後期에 檢出되지 않았다. 암모니아 酸化의 最適溫度는 30~35°C의 範圍이고, 最適 pH는 中性 부근이지만 10°C 이상의 溫度에서는 암모니아가 지나치게 높은 濃도로 存在하지 않는한 간 停頓된다²²⁾. 아질산 및 질산태 窒素의 變化傾向으로 보아 尿素分解 초기에 다소 높아진 암모니아 濃度の 影響으로 *Nitrosomonas*에 의한 아질산의 生成이 다소 完滿하였고 암모니아의 濃도에 無關한 *Nitrobacter*의 活動은 왕성하여 生成되는 아질산은 신속히 질산태 窒素로 變化되었으며 培養 後期에는 窒酸의 生成으로 극히 낮아진 pH條件에서 窒化細菌의 活動과는 無關한 어떤 化學的 反應으로 아질산태 窒素의 일부가 氣體狀態의 窒素로 空氣중에 揮發²³⁾되었고, 이러한 이유로 培養後期에는 질산태 窒素뿐만 아니라 窒素全體의 濃도가 낮아진 것이라 생각된다. 永井과 久保田¹⁵⁾은 45일간의 병배양실험에서 減少된 암모니아태 窒素의 2.5~8%가 아질산태 窒素의 揮發에 의한 것이라고 하였다.

藥劑處理의 경우 實用濃度水準에서는 供試藥劑 모두 窒化作用에 대한 影響을 찾아 볼 수 없었다. Butachlor와 Nitrofen은 實用濃度の 10배수준에서 培養 初期에 아질산의 集積과 질산태 窒素의 減少를 나타냈고 實用濃度の 50배 수준에서는 이러한 경향이 더욱 뚜렷하여졌는데 이것은 이들 藥劑가 *Nitrobacter*의 活動을 阻害하였기 때문이라 생각된다. 그러나 後期에 아질산 窒素가 정상수준으로 增加되는 것으로 보아 이들 藥劑의 阻害效果는 일시적인 것임을 알 수 있다.

Propanil은 窒化抑制作用이 현저 강력하여서 實用濃度の 50배水準에서는 거의 全 培養期間을 통하여 암모니아태 窒素의 濃도가 대조구보다 훨씬 높은 濃도로 維持되었으며 相對적으로 질산태 질소의 濃도가 크게 減少되었다. Propanil의 窒化抑制現象에 대하여는 많

은 報告^{5,19)}가 있는데 Propanil 자체의 窒化抑制效果도 인정할 수 있으나 土壤에서 Propanil은 3,4 dichloro-aniline과 Propionic acid로 쉽게 分解될 뿐 아니라, 土壤에 處理된 3,4 dichloro aniline이 상당기간 동안 殘留되기 때문에 窒化抑制效果는 後者の 경우가 훨씬 더 크다고 하였다. 또한 Propanil은 *Nitrobacter*에 대한 影響은 없어서 土壤중에 아질산의 集積은 없다고 하였는데 본 實驗結果와도 一致하고 있다 Simazine은 全 處理水準에서 窒化作用에 대한 影響을 찾아볼 수 없었다. Nayyar 등¹⁶⁾은 Simazine이 *Nitrosomonas*의 活動에는 影響을 주지 않으나 *Nitrobacter*의 活動을 抑制하여 잠정적이긴 하나 土壤중에 아질산태 질소를 集積한다고 하였으며 Farmer등⁸⁾도 Simazine이 *Nitrobacter*에 阻害作用이 있다고 하였다. 그러나 Pochon등 (Bollen⁴⁾ 인용)은 Simazine과 다른 aminotriazine系 除草劑가 *Azotobacter*의 活性을 촉진하고 *Cytophaga*와 *Cellvibrio*의 活動은 阻害하나 암모니아화생균이나 窒化細菌 및 脫質細菌들에는 影響이 없다고 하였으며 Chandra 등 (Bollen⁴⁾ 인용)은 미생물 呼吸作用에 대한 Simazine의 影響이 土壤에 따라 다르나, 處理濃度水準을 5ppm에서 100ppm까지 增加시키도 이에 따라 反應이 크게 달라지지는 않는다고 하였다. Simazine의 窒化抑制效果에 대한 이와같은 상반된 研究結果는 土壤중 窒化細菌, 특히 *Nitrobacter*의 變種의 存在와 그 活性의 差이에 기인함을 추정할 수 있게 하는데 이 問題는 soil perfusion technique이나 團體培地를 使用한 별도의 綿密한 검토가 必要하다고 본다.

pH에 대한 影響 요소 소비 후 除草劑 處理에 의한 土壤 pH의 變化 結果를 Fig. 1에 表示하였다. 尿素處理 直後 5.3이었던 대조구의 土壤 pH가 培養 1주째 5.8로 약간 上昇하였다가 다시 減少하기 시작하여 培養 末期에는 극히 낮은 수준으로 떨어지고 있는데 이와 같은 pH變化는 土壤중 질소의 形態變化 過程을 잘 반영하여 주고 있으며 다른 연구보고¹¹⁾와도 일치하고 있다. 培養기간이 經過하면서 pH가 下降하는 傾向은 藥劑處理구에 있어서도 마찬가지로 있어서 無處理구나 處理구 모두 窒素形態 및 그 含量變化가 土壤 pH變化의 直接的인 原因이 되고 있다고 생각되며 除草劑 혹은 그 分解中間產物이 土壤 pH에 影響을 준다고 보기는 어렵다. 따라서 pH의 變化는 窒化抑制에 대한 藥劑의 影響을 잘 나타내주고 있어서 Simazine은 全 處理水準에서 대조구의 pH變化와 같은 傾向을 보여주고 있으며, 高濃度水準에서 窒化抑制作用이 뚜렷하였던 Propanil의 경우에 대조구에 比하여 상당히 높은 pH값을 유지시키고 있다.

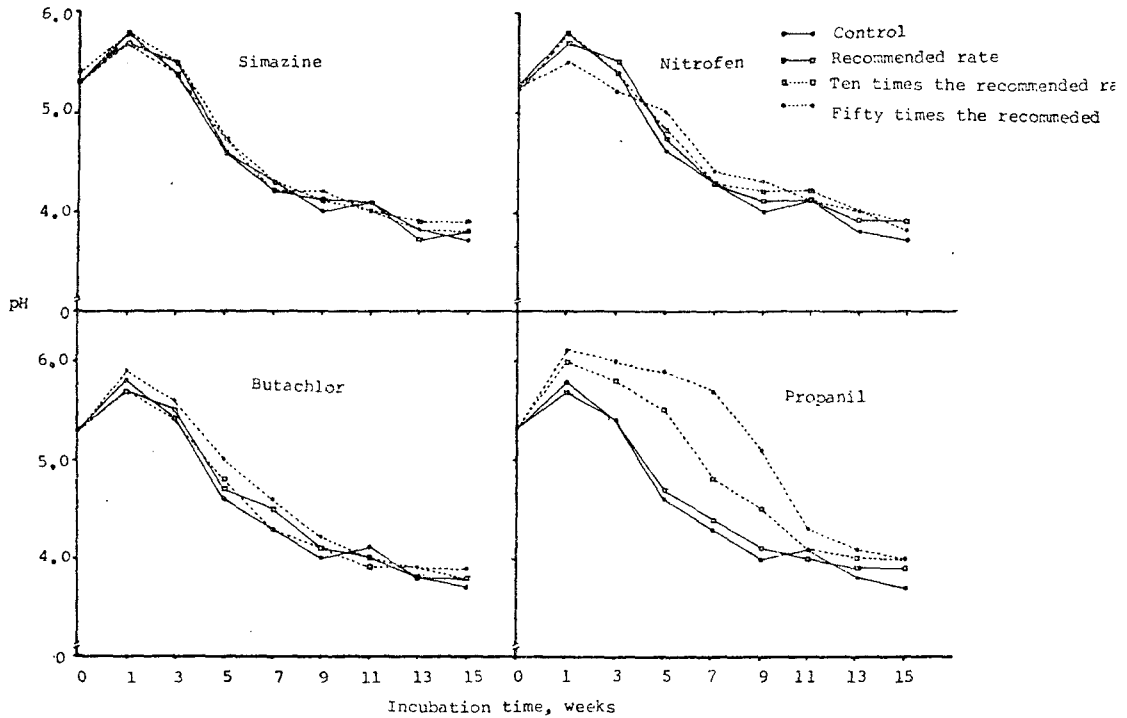


Fig.1. pH of soil as affected by herbicide treatments.

이상에서 檢討한 바와 같이 供試한 모든 藥劑가 實用濃度 水準에서는 암모니아화성균이나 窒化細菌의 活動에 대한 阻害作用이 없었으며 극히 高濃度 수준에서의 阻害作用도 一時的 일 뿐이었음을 알 수 있었으며, 除草劑를 連用할 경우 藥劑에 대한 微生物의 抵抗力이 增大되어서 처음 施用할 때보다 阻害效果가 減少된다는 報告^{6,13,17}도 있다. 따라서 除草劑가 土壤微生物에 줄 수 있는 影響은 열려스러운 것이 아니라고 생각된다.

摘 要

밭토양에서 Simazine, Nitrofen, Propanil 및 Butachlor 등의 除草劑가 施肥한 窒素의 變化過程에 미치는 影響을 調查하기 위하여 尿素와 藥劑를 處理한 후 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 培養하면서 암모니아태, 아질산태 및 질산태 질소와 pH의 變化를 檢討하였던 바 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 尿素分解에 의한 암모니아태 질소의 生成에 있어서 모든 藥劑가 實用濃度 수준에서는 아무런 影響이 없었다. Butachlor는 實用濃度の 10 배와 50 배 수준에서, Nitrofen은 50 배 수준에서 일시적인 抑制效果가 인정되었으나 時日이 경과하면서 正常으로 회복되었다. Simazine과 Propanil은 전 處理수준에서 影響이 없었다.

2. 窒化作用에 있어서도 모든 藥劑가 實用濃度수준에서는 影響이 없었다. 實用濃度の 10 배와 50 배 수준

에서 Butachlor와 Nitrofen은 아질산의 산화를 抑制하였으며 Propanil은 암모니아의 산화를 크게 抑制하나 아질산의 酸化抑制效果는 없었다. 그러나 이 산화抑制 효과는 時日이 경과하면서 正常으로 회복되었다. Simazine은 전 處理수준에서, 窒化作用에 대한 影響을 인정 할 수 없었다.

3. 藥劑處理區와 無處理區에서의 pH 變化경향은 壤 중 질소의 形態變化를 잘 반영하여 주었으며 藥에 의한 직접적인 影響은 찾을 수 없었다.

引用文獻

1. Alexander, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley, New York. 248-308.
2. Bartha, R. and D. Pramer. 1967. Pesticide transformation to aniline and azo compounds in soil. *Science* 156:1617-1618.
3. Black, C.A. 1968. Soil-plant relationships. 452-47
4. Bollen, W.B. 1961. Interactions between pesticide and soil microorganisms. *Ann. Rev. Microbiol.* 1: 69-92.
5. Brown, A.L. 1954. Effect of several insecticides ammonification and nitrification in two neutral & uviyal soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 417-420.
6. Chandra, P., W.R. Furtick, and W.B. Bollen. 196

- The effect of four herbicides on microorganisms in nine Oregon soils. Weeds 8:589-599.
7. Eno, C.F. and W.G. Blue. 1957. The comparative rate of nitrification of anhydrous ammonia, urea and ammonium sulfate in sandy soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 392-396.
 8. Farmer, F.H., R.E. Benoit, and W.E. Chappell. 1965. Simazine, its effect on nitrification and its decomposition. Proc. Northeast Weed Control Conf. 19:350-354.
 9. Fisher, Jr. W.B. and W.L. Parks. 1958. Influence of soil temperature on urea hydrolysis and subsequent nitrification. Soil Sci. Soc. Proc. 247-248.
 10. Gibson, T. 1930. The decomposition of urea in soils. J. Agr. Sci. 16:549-553.
 11. 橋本武, 中村和弘, 1971. 施肥による 土壤酸性化ならびに 中和に関する 研究(1) 土壌と 肥料との 化学的 反応ならびに 硝化生成による 土壌 pH の 変化. 日土肥誌 42(1):453-458.
 12. 金茂壽, 1976. 土壤處理型 除草剤外 窒素肥料の 無機化作用에 미치는 影響(1) 湛水土壤條件. 韓植保誌 15(4):1-10.
 13. Koike, H. and P.L. Gainy. 1952. Effects of 2,4-D and CADE single and in combination upon nitrate and bacterial counts of soil. Soil Sci. 74:165-172.
 14. Laidler, S.J. and J.P. Hoard. 1945. Kinetics of urea enzyme systems. Science 120(3117):499.
 15. 永井恭三, 久保田正亞, 1969, 火田土壤における 硝化作用に 伴る 亞硝酸態窒素の 揮散について, 日土肥誌 40(10):401-405.
 16. Nayyar, V.K., N.S. Randhawa and S.L. Chopra. 1969. Effect of Simazine on nitrification and microbial population in a sandy-loam soil. Indian J. Agric. Sci. 445-451.
 17. Newman, A.S. and J.R. Thomas. 1949. Decomposition of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in soil and liquid media. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 14:160-164.
 18. Pattick, Jr. Wm. H. and R. Wyatt. 1964. Soil nitrogen loss as a result of alternate submergence and drying. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 647-653.
 19. Thompson, F.R. and C.T. Corke. 1969. Persistence and effects of some chlorinated anilines on nitrification in soil. Can. J. Microbiol. 15:791-796.
 20. Tyler, K.B. and F.E. Broadbent. 1960. Nitrite transformation in California soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39:15-28.
 21. Verstaeten, L.M.J. and K. Vlassak. 1973. The influence of some chlorinated hydrocarbon insecticides on the mineralization of N fertilizers and plant growth. Plant Soil. 39:15-28.