

土壤の長期湛水に依る酸化還元電位の變化 (第 4 報)

炭水化物と含窒素物との差異

農學博士 澁谷紀三郎，農學士 佐伯秀章，劉建藩

(臺北帝國大學理農學部土壤學肥料學研究室)

昭和 12 年 10 月 11 日 受理

緒 論

著者等は土壤を長期に渉り水田状態に湛水せる場合に起る酸化還元電位の變化を、前 3 報⁽¹⁻³⁾に於て數種の土壤を以て比較を行ひ、且つ電位の變化に及ぼす諸條件の影響を検索してこれが報告を行ひたり。更に本報は湛水土壤の酸化還元電位に對する有機物の種類の影響、即ち炭水化物と蛋白との相異に關して研究を行ひ、更に無機含窒素物の作用との比較をも行ひたり。蓋し有機或は無機含窒素質肥料及綠肥中の炭水化物が土壤の酸化還元電位の變化に如何なる影響を及ぼすやを知らむとするものなり。

諸條件の一定せる場合、土壤の電位は微生物の種類に依て影響せらるるは Burrows 及 Jordan⁽⁴⁾ 並 Gillespie 及 Rettger⁽⁵⁾ 等に依て既に知られたる所なれ共、又在存する有機物の種類に依る影響も充分考慮せらるべきものなり。最近 Burrows 及 Cordon⁽⁶⁾ は畑地状態の土壤に炭水化物として澱粉及葡萄糖、蛋白として Casein 及 Alanine を各別に添加し電位の變化を比較したるに、炭水化物と蛋白との間に顯著なる差異を見出し、更に滅菌土壤に純粹培養を行ひたる *Actinomyces californicus*, *Actinomyces bobili*, *Trichoderma* sp., *Bacterium fluorescens*, *Bacterium cereus*, *Mucor* sp., 等を接種し同様の試験を行ひたるに、微生物の種類の如何に拘らず炭水化物と蛋白間に一樣に顯著なる差異を見出せり。即ち氏等は炭水化物は電位を低下し蛋白は電位を上昇せしむる事實を認めたり。此現象は微生物の種類或は系の pH の相異等に因らずして一に有機物の種類即ち炭水化物と蛋白との別に歸因するものにして、土壤電位の降下度を以て其有機物含量を推定し得るとの Heintze⁽⁷⁾ の説を駁するものなり。斯くの如く微生物の種類如何に拘らず有機含窒素物と炭水化物との作用に徑庭の存するは農業實際の立場に於ても考慮を要すべき事柄なり。Burrows 及 Cordon は是等の關係を水分含量の低き畑地状態に於て觀察したれ共、水田の如き湛水状態に在ては其條件の相異に因り自ら其趣を異にするものありと考へらる。仍て本報に於ては蛋白及炭水化物並夫等の混合物の、湛水土壤の酸化還元電位の變化に及ぼす影響を検し併せて有機及無機の含窒素物の作用の比較研究をも行ひたり。

實 驗

A. 實 驗 方 法

供 試 土 壤:

D. 435	臺北市富田町中央研究所農業部圃場	無肥料畑地	表土	砂岩頁岩質土壤
D. 465	臺北州七星部七星山中腹	未耕地	表土	腐植土壤
D. 470	臺中州員林郡員林街	未耕地	表土	粘板岩質土壤

此等の土壤は 0.01 mm 以下に篩別せるものを供用せり。

供試料： 蛋白として Casein，炭水化物として Mannite，無機含窒素物として硫酸アンモン等の夫々純品を用ひたり。

實驗項目： 次の各區に就きて實驗を行ひたり。

區	土 壤 (g)	Mannite		Casein			$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ g	HgCl_2 p.p.m.	添加物の C/N 比
		g	C g	g	C g	N g			
1	7.0	1.4	0.56	0	0	0	0	0	C
2	7.0	1.4	0.56	0.2	0.11	0.04	0	0	17
3	7.0	1.4	0.56	0.5	0.22	0.08	0	0	11
4	7.0	1.4	0.56	1.1	0.55	0.19	0	0	6
5	7.0	0.6	0.28	1.1	0.55	0.19	0	0	4
6	7.0	0.3	0.14	1.1	0.55	0.19	0	0	3.7
7	7.0	0	0	1.1	0.55	0.19	0	0	3
8	7.0	0	0	1.1	0.55	0.19	0	2000	3
9	7.0	0	0	0	0	0	1.0	0	N

第1區は土壤に Mannite のみを加へたるものにして此際に於ける Mannite 量は土壤の 20% にして前報に於ける用量に等し。第2區より第6區迄は Mannite と Casein の混合區にして、次第に Casein の割合を増加したり。而して第7區は Casein のみの區にして其用量は第1區に於ける Mannite の C と當量の C を含むが如く加へたり。第8區は、第7區に鹽化第二水銀を加へて微生物の活動を抑壓せる場合にして、最後の第9區は、第7區の Casein の N に 當量の N を硫酸アンモンを以て加へたるものなり。

測定法： 各 7g の土壤に Casein は粉狀にて、其他の物料は液狀となして加へ能く混和し、之に過剰の水を加へて水田状態となし空氣との接觸を避くる爲め水面に流動パラフィンを浮べ更に密栓をなしその周圍をパラフィンにて塗布せり。之を前實驗同様 30°C に保ちて 10 週間に涉り實驗を行ひたり。電位測定装置も前報同様 Brown 法⁽⁸⁾ に準據し毎回の測定には分極等に因る誤差を避けんが爲めに、同一試料を使用せず、又 1 回の測定には 3 箇宛を用ひ而かも 3 箇の電極を各別に使用して電極の條件に伴ふ誤差を軽減せしめたり。

B. 實 驗 成 績

以上の方法を以て各湛水期間に於ける土壤の酸化還元電位及 pH の測定を行ひたるに次表の如き成績を得たり。

第 1 表 湛水土壌の酸化還元電位 Eh=m.v

D.435 砂岩頁岩質土壤

湛 水 期 間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 +Mannite	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl_2	土 壤 + 硫酸 アンモン
	C のみ	17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	444	446	454	447	445	452	440	666	487
1	415	378	353	410	370	384	438	665	471
2	393	252	262	296	304	339	333	652	455
3	322	253	242	285	286	295	285	650	369

5	321	250	242	288	289	288	255	643	361
1 週	311	251	241	299	287	300	248	640	356
2	311	266	259	289	280	301	201	626	342
3	327	259	275	314	276	288	200	547	346
4	328	265	294	293	275	285	200	475	337
5	334	289	310	312	296	286	208	420	344
6	335	321	337	335	299	261	203	456	351
7	351	379	351	351	300	242	200	428	353
8	391	353	369	360	309	243	202	314	344
9	410	341	370	354	252	238	202	323	355
10	423	407	394	369	273	228	206	328	358

第 2 表 湛水土壌の酸化還元電位 Eh = m.v
D. 465 腐植土壌

湛水 期間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 + Mannite	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl ₂	土 壤 + 硫酸 ア ン モ ン
	C のみ	17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	374	370	373	362	383	362	371	587	432
1	370	342	320	337	329	314	323	583	380
2	365	338	311	333	321	261	297	594	369
3	354	326	321	324	327	265	314	599	362
5	324	286	297	312	279	246	290	583	360
1 週	304	285	300	302	275	250	293	489	355
2	302	358	306	325	274	241	295	464	356
3	307	361	341	338	306	278	277	444	360
4	324	361	382	338	305	258	284	384	359
5	329	381	367	389	309	266	285	378	366
6	353	379	361	396	344	295	288	346	375
7	392	405	363	383	326	293	282	359	379
8	391	411	376	374	318	310	286	339	356
9	381	409	350	373	331	303	303	349	350
10	383	414	391	375	326	299	296	349	354

第 3 表 湛水土壌の酸化還元電位 Eh = m.v
D. 470 粘板岩質土壌

湛水 期間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 + Mannite	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl ₂	土 壤 + 硫酸 ア ン モ ン
	C のみ	17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	342	348	358	346	350	350	352	594	383
1	321	333	338	330	328	333	328	578	378
2	313	326	325	326	328	334	317	572	371
3	317	320	322	326	327	327	304	551	373
5	309	322	315	326	325	328	289	549	362

1 週	293	328	324	325	325	328	270	528	367
2	301	327	322	326	326	276	243	510	363
3	302	321	324	328	332	273	197	461	361
4	301	313	316	315	322	251	195	457	360
5	318	321	319	300	312	268	208	371	349
6	322	324	324	311	305	258	220	366	346
7	331	329	326	309	306	274	215	315	345
8	332	332	320	321	319	258	201	251	348
9	336	329	321	325	288	250	212	235	349
10	335	336	327	332	284	244	210	305	348

第4表 湛水土壌のpH

D. 435 砂岩頁岩質土壌

湛水 期間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 + Mannite	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl ₂	土 壤 + 硫酸 ア ン モ ン
	C のみ	17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	6.2	6.1	5.9	5.9	5.8	5.9	5.6	3.8	5.8
1	6.5	6.6	6.5	6.6	6.4	6.4	6.2	4.2	5.9
2	6.6	6.6	6.4	6.2	5.8	5.8	6.1	4.5	5.9
3	6.2	6.4	5.9	5.9	5.7	5.8	6.1	4.5	5.9
5	6.1	6.0	5.6	5.8	5.7	5.8	6.4	4.9	5.8
1 週	6.1	6.0	5.6	5.6	5.6	5.6	6.4	4.9	5.8
2	6.1	5.6	5.6	5.4	5.2	5.5	7.5	5.6	6.0
3	5.6	5.4	5.1	5.5	5.3	5.9	7.6	5.9	5.9
4	5.9	5.3	5.2	5.3	5.7	5.8	7.9	5.8	6.1
5	6.0	5.4	5.2	5.4	5.6	6.4	8.1	5.9	6.0
6	5.9	5.4	4.9	5.2	5.9	6.8	8.0	5.5	6.0
7	5.6	4.8	4.5	5.0	6.3	7.2	8.2	6.4	6.4
8	5.2	5.4	4.7	5.0	6.3	7.2	8.1	6.2	6.3
9	5.0	5.4	4.4	5.1	7.3	6.8	7.7	7.1	6.0
10	4.6	4.7	4.2	4.8	7.2	7.4	8.8	6.7	6.1

第5表 湛水土壌のpH

D. 465 腐植土壌

湛水 期間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 + Mannite	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl ₂	土 壤 + 硫酸 ア ン モ ン
	C のみ	17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	5.5	6.6	7.2	6.7	6.6	7.2	6.8	4.9	5.6
1	5.7	5.8	7.0	6.1	6.0	7.0	5.6	4.8	6.9
2	6.0	6.2	7.5	5.8	6.2	7.8	5.6	4.9	6.1
3	6.1	6.1	7.2	5.5	5.9	7.6	6.3	4.7	6.6
5	5.3	5.9	7.0	5.6	5.1	7.9	6.1	5.0	6.2

1 週	5.8	5.4	6.9	5.3	6.3	7.5	6.8	5.1	5.9
2	5.5	6.3	6.8	5.7	7.2	7.2	6.9	5.6	6.4
3	5.3	6.0	6.1	6.1	6.3	7.3	6.9	5.5	7.0
4	5.4	5.3	5.6	6.0	6.7	6.9	6.9	5.6	6.9
5	5.2	5.2	5.3	4.8	6.7	7.1	6.9	5.5	5.9
6	5.1	4.7	5.3	3.6	6.1	6.7	7.6	5.7	5.3
7	4.7	4.4	5.2	3.6	6.3	6.9	7.6	6.2	5.4
8	4.7	4.6	4.6	3.7	6.7	7.1	7.8	5.9	5.5
9	4.6	4.6	4.3	3.9	6.0	6.8	7.2	5.0	5.5
10	4.3	4.2	4.2	3.8	5.8	6.8	7.4	5.3	5.4

第 6 表 湛水土壌の pH
D. 470 粘板岩質土壌

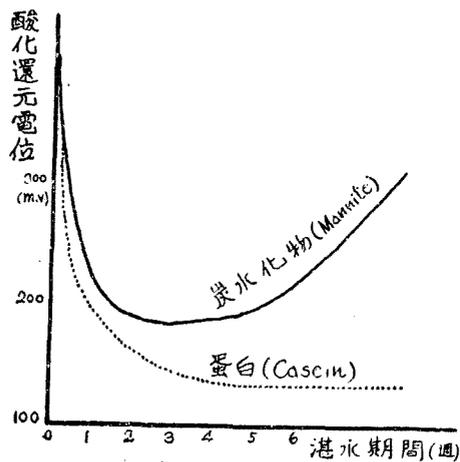
湛水 期間	添 加 物 料 の C/N 比								
	土 壤 +Mannite Cのみ	土 壤 + Mannite + Casein					土 壤 + Casein	土 壤 + Casein + HgCl ₂	土 壤 + 硫酸 ア ン モ ン
		17	11	6	4	3.7	3	3	0
0 日	8.5	7.0	7.5	6.9	6.6	6.7	6.5	5.7	8.4
1	8.6	8.0	7.9	7.4	7.1	7.1	7.2	6.2	8.5
2	8.5	7.8	7.9	7.2	6.9	6.7	7.3	6.2	8.6
3	8.6	7.7	7.4	7.1	6.6	6.4	7.7	6.2	8.7
5	8.3	7.3	7.2	6.8	6.6	6.4	8.0	6.2	8.7
1 週	8.0	6.8	6.9	6.2	6.1	6.1	8.0	6.2	8.3
2	7.3	6.0	6.2	5.9	5.8	6.9	7.9	6.3	8.5
3	6.6	6.0	5.9	5.8	5.9	7.3	8.2	6.6	8.6
4	6.6	6.1	6.2	6.3	6.0	7.6	8.6	6.4	9.0
5	6.6	5.8	5.9	6.1	6.0	7.4	8.4	6.3	8.8
6	6.2	5.8	5.8	6.3	6.3	8.0	8.5	6.2	9.1
7	6.4	5.8	6.0	6.1	6.3	7.2	8.5	6.3	8.7
8	6.2	5.8	5.9	5.7	6.4	7.3	8.5	7.6	8.5
9	6.7	6.4	5.9	6.0	7.2	7.8	8.3	7.5	8.8
10	6.1	5.6	5.7	5.6	6.5	7.4	8.2	6.9	8.6

上表に基き先づ炭水化物たる Mannite と蛋白たる Casein との土壌電位に對する作用を比較するに、Mannite 區は湛水後 1 週間以内に急激なる電位の降下を示し、2 週間前後に於て最大の還元状態に達し其後却て徐々に電位を増加し終には殆ど湛水前の電位に接近するに至れり。又系の pH の變化は電位と逆の關係を示し、湛水前期に於ては pH は次第に増加し最高の還元状態に於て最も高き pH となり、其後次第に pH は低下するに至れり。斯くの如き湛水後期に於ける電位の上昇は既に前報に於て述べたる如く炭水化物の分解の進行に伴つて漸次炭酸及有機酸の蓄積顯著となれる事に歸因すべく、實際に於ける pH の低下は之を證するものなり。

次に Casein 區に於ては Mannite 區同様湛水の初期に於て急激なる電位に降下を示せども、3~4 週間以後に於ては電位に著しき差を認め難く殆ど一定となる。是れ Mannite の場合と異なる顯著なる事實なり。兩者の示す電位曲線を比較するに第 1 圖の如し。

而して最大の電位降下は土壤の種類を問はず常に Casein に於て遙かに大にして強き還元状態を示

第1圖 炭水化物と蛋白の湛水土壌
の電位に及ぼす差異



せり。畑地状態に於ける Burrows 及 Cordon 等の實驗に於て認めたる炭水化物と蛋白間の差異と本實驗に於ける結果とが其趣を異にせるは湛水状態として嫌氣的條件に在るに因るべし。Casein が Mannite の如く湛水後期に電位の上昇を示さざるは、含窒素物の分解後期に於て集積する鹽基性物質に因る pH の上昇及燐化合物の還元力等が、炭酸及有機酸等に基く電位の上昇を抑制するが爲めと考へらる。

次に Mannite と Casein の混合物に就きて見るに、其 C:N 比の如何に依て差異を來たし、其値のhigh區の電位の變化は Mannite 區の夫に類似し、C:N 比が次第に低減して Casein 含量の高まるに従ひ、Casein 區の夫れに近づけり。即ち Mannite と Casein との混合物の表はす電位は Mannite 區と Casein 區との中間に位し、その混合割合に依て何れかの區に近き酸化還元状態を表せり。

斯の如き炭水化物と蛋白との間に認めらるゝ差異に關し Burrows 及 Cordon は系の pH の相異或は微生物の種類異なる事に因らざる事を認めたり。本實驗に於て pH に就き考ふるに Mannite 區及 Casein 區の最初の pH は互に大なる差異を示さず。假令最初の pH に若干の差ありと雖も湛水中に於ける電位變化の状態は同一土壤に於ては殆ど相等しき結果を示す事は既に前報^(2,3)に於て認めたる所なり。又微生物の種類に關しては特に其檢定を行はずと雖も、上記兩氏が其研究に用ひたる數種の微生物に在ては、同一條件に於て電位變化の傾向に差を認めざりし事實は此場合に於ても適用し得るものなり。従て炭水化物、蛋白兩者の間に於ける斯かる相異は一に兩物質の形態異なるに歸因すと考ふるを得べし。

含窒素物として有機態なる蛋白と無機態なる硫酸アンモンとの作用の比較を行ひしに、其電位變化の状態は兩者全く同様なり。即ち硫酸アンモンの場合も湛水と共に急激に電位を降下し遂に一定の期間に至りて殆ど増減を示さざるに至る。又 pH の變化も蛋白の夫れと殆ど相等し。Darnell 及 Eisenmenge が畑地状態に於て電位に對する硫酸アンモンの影響を檢したる結果に依れば、硫酸アンモンは徐々に其電位を増加せり。此結果を前記 Burrows 及 Cordon の畑地状態に於ける蛋白の作用と對照するに兩者何れも同様の傾向を示せるを知る。尤も此等の結果は好氣的状態に在る畑地に於けるものなれば、本實驗の如き水田状態の場合とは其電位に及ぼす作用は相異せりと雖も兩者同様の影響を示す事實の参考となるべし。斯の如く蛋白と炭水化物の間のみならず硫酸アンモンの如き無機含窒素物と炭水化物との間に於ても亦同様の差の生ずるを認め得るなり。従て水田土壤の酸化還元電位の變化は肥料として添加する物料の炭水化物と含窒素物とに依りて相異を來たし、且つ夫等兩者の混在する場合には、其 C:N 比の値に應じて系の電位はその何れかに近づくべし。

又等量の窒素を含む Casein 區と硫酸アンモン區との電位の降下を比較するに Casein 區の夫邊に大にして高き還元状態を示せり。是れ Casein の分解に際し還元性物質の生成が硫酸アンモンに

比して大なると、炭素及燐化合物を含む事に歸因すべし。

Casein に鹽化第二水銀を土壤の 2000 p.p.m. に加へたる區は、然らざる區に比して著しく電位の降下は緩慢なり、而して此降下の曲線は緩き傾斜を示し第 2 報に於て觀察したる鐵の還元に基づく電位降下の曲線と相似たり。此事實は既に數種の土壤に於て認めたる所にして、此場合に於ける電位の降下は微生物よりは寧ろ鐵の如き土壤物質の作用に基づくものなるべし。

之を要するに湛水状態に在る土壤に有機物を添加する時は、夫れが含窒素物なると炭水化物なるとに依りて湛水中に於ける酸化還元電位の變化に明瞭なる差を致す。即ち炭水化物は土壤の湛水と共に急激に還元状態を高むれ共、或期間に達すれば却て漸次電位の増加を示すに至る。反之蛋白の場合は最初は前者と同様急激なる還元力の増加を示せども遂に一定となりて殆ど電位の變化を認めざるに至る。而して還元状態は炭水化物よりも蛋白を加へたる場合に於て強大なり。尙又有機含窒素物のみならず硫酸アンモンの如き無機態の含窒素物も、炭水化物の作用と趣を異にし蛋白と同様の作用を表はせり。仍て含窒素物は其形態の有機態なると無機態なるとに拘らず湛水土壤の酸化還元電位に及ぼす影響に於て、炭水化物と大いに其趣を異にする事を知りたり。

總 括 及 結 論

土壤に含窒素物及炭水化物を添加して湛水状態に保持する場合、時日の経過に伴ふ酸化還元状態の變化に對し如何なる影響を及ぼし、如何なる相異を示すやに就き比較研究を行ひたり。土壤水分量の低き畑地状態に於ける此等の關係は最近 Burrows 及 Cordon 等に依りて研究せられ炭水化物は還元状態を高め蛋白は却て酸化状態を増加し且つ此現象は pH の差異及微生物の種類等に因らざる事が知られたり。嫌氣的條件に在る水田状態に於ては又其趣の異なるものあるべく、炭水化物として Mannite、蛋白として Casein、無機含窒素物として硫酸アンモンを用ひ臺灣に於ける粘板岩質土壤、砂岩頁岩質土壤、腐植土壤に就きて實驗研究を行ひたり。此等の土壤に Mannite、Casein、硫酸アンモンを夫々各別に加へたる區と、C: N 比を種々に變化せしめたる Mannite と Casein の混合物を加へたる區等を 30°C に 10 週間湛水を行ひ各期間に於ける酸化還元電位並 pH を測定したり。測定装置及方法は凡て前報に準じたり。

其結果の概要を記するに次の如し。

1). 炭水化物たる Mannite と有機含窒素物たる Casein との間には土壤の酸化還元電位に對する作用に明瞭なる差異を認めたり。Mannite は電位を急激に降下せしめられたれ共、湛水後凡そ 2 週間前後にして最高の還元状態に達し其後は却て電位を上昇せしめたり。反之 Casein は湛水凡そ 2~3 週間迄は急速に還元力を増し其後は殆ど一定となりて増減を示す事なし。即ち此等兩者の添加に基づく土壤電位の状態は第 1 圖の如き相異を示せり。

2). 兩者の表はせる最大還元力は Mannite に比し Casein に於て遙に大なり。

3). 系の pH の變化は電位と逆の關係を示したれば、電位同様兩者間に顯著なる差異を表はせり。即ち Mannite 區の pH は湛水に依て一旦上昇し然る後漸次低下し、湛水の後期には初期に於けるよりも遙に強き酸性となるに至れり。反之 Casein 區は湛水期間の経過に伴ひ pH を増加してアルカリ性を示し後期に於て略一定となれり。

4). Mannite と Casein の混合物を加へたる場合には土壤の電位の變化は混合物の C: N 比に依て影響を受け、C: N 比の高き場合は Mannite 區の電位變化と類似の傾向を示し、次第に C:

N 比の小となるに従ひ Casein 區の夫れに接近せり。即ち此混合物の作用は，Mannite と Casein の中間に位し，其 $C:N$ 比に従て何れかの作用を強く表せり。

5). 含窒素物と炭水化物との間に於ける上記の差異は常に有機物間に於てのみならず無機物との間に於ても亦認められたり。即ち Mannite と硫酸アンモンとの間に於ても，Mannite と Casein の間に於けると同様の差異を表はせり。従て硫酸アンモン區も Casein 區同様土壤の電位を前半期に於て著しく低下し其後殆ど變化を示す事なし。pH の變化も亦 Casein と同様の傾向を表はせり。

6). 土壤電位の降下は硫酸アンモンよりも Casein に於て遙に大なり。従て Casein 區は硫酸アンモン區よりも強き還元状態を表はせり。

要之，湛水状態の土壤に於ても，添加せる炭水化物と蛋白との間に電位の變化に對する明瞭なる相異を認め，其相異は曩に Burrows 及 Cordon 等の畑地状態に於て認めたる差異とは其趣を異にせり。氏等の畑地状態に於ける實驗に於ては，炭水化物は電位を低下し，蛋白は却て之を上昇せしめたりと雖も，水田状態に在ては炭水化物は初め電位を降下し後に至て上昇を示せるに反し，蛋白は常に電位を低下しつゝ遂に一定の電位を保持して變化なきに至れり。又含窒素物として有機物のみならず無機の硫酸アンモンも蛋白同様の行爲を示し炭水化物との間に顯著なる相違を表はせり。

文 獻

- (1) 澁谷，佐伯，劉：日本農藝化學會誌 **12**, 62 (1936).
- (2) 澁谷，佐伯，劉：日本農藝化學會誌 **12**, 1141 (1936).
- (3) 澁谷，佐伯，劉：日本農藝化學會誌 **13**, 529 (1937).
- (4) W. Burrows and E. O. Jordan: Jour. Infect. Diseases, **56**, 255 (1935).
- (5) R. W. H. Gillespie and L. F. Rettger: Jour. Bact., **31**, 14 (1936).
- (6) W. Burrows and T. C. Cordon: Soil Sci., **42**, 1 (1936).
- (7) S. G. Heintze: Jour. Agr. Sci., **24**, 28 (1934).
- (8) L. A. Brown: Soil Sci., **37**, 65 (1934).
- (9) M. C. Darnell, Jr. and W. S. Eisenmenge: Jour. Agr. Res., **53**, 73 (1936).