

A mangán-egyensúly vizsgálata öntés és meszes talajokon

A. I. METWALLY, A. H. EL-DAMATY és A. A. HAMDY

Ain Shams Egyetem, Talajtani Tanszék, Kairó, E.A.K.

A mangán a talajban különböző fokon oxidált formában van jelen és a különböző mangánformákat tartalmazó vegyületek oldékonysága különböző. A kétvegyértékű mangán a talajoldatban, illetve kicserélhető formában található. A talaj mangántartalmának ezen formái feltehetően dinamikus egyensúlyban vannak a magasabb vegyértékű formák oxidjaival vagy hidroxidjaival és valószínűleg azzal a mangánformával is, mely a talaj szerves anyagával feltehetően kelátok formájában komplexet képez.

Bár sok szerző, mint DION és MANN [1], MANN és QUASTEL [5], LEEPER [4], FUJIMOTO és SHERMAN [2] megkísérelte leírni a mangán körfolyamatot a talajban, mégis vitatott kérdés az, milyen komponensek alkotják az egyensúlyi körfolyamatot. Más részről WEIR és MILLER [7], valamint REID és MILLER [6] rámutattak arra, hogy az izotóptechnika jól használható az egyensúly körfolyamatában szereplő komponensek azonosítására.

Ennek a technikának elve az, hogy ha radioaktív izotópot nyomjelző mennyiségben juttatunk az oldatba, ez nem zavarja meg a fennálló egyensúlyt, az izotóp kicserélődik a vizsgálandó elem mindazon formáival a talajban, amelyek dinamikus egyensúlyban vannak az oldatban levő elem mennyiségével. Egyensúly esetén, az elem minden, az egyensúlyi körfolyamatban szereplő formájának megfelelő fajlagos aktivitás érték egyenlő lesz az oldat fajlagos aktivitásával. Azon egyensúlyi mangánformák vizsgálata, amelyek közvetlenül egyensúlyban vannak az oldat mangántartalmával, valamint minden forma kivonására alkalmas kioldószer és eljárás kidolgozása tulajdonképpen nagymértékben elősegíti a növények számára hozzáférhető mangántartalom pontosabb meghatározását.

Kutatásaink ezen részét azzal a céllal végeztük, hogy vizsgáljuk a talaj mangántartalmának azon formáit, melyek az oldatban levő mangánnal egyensúlyban vannak és hogy ezeket a formákat az izotóptechnika alkalmazásával mind öntés, mind meszes talajokon meghatározzuk.

Vizsgálati anyag és módszerek

Vizsgálataink céljára két talajmintát választottunk: egy agyagos vályogtalajt, mely a Bahteem farm termékeny öntéstalajait jellemzi, és egy meszes homokos agyagos vályog talajmintát Burg El-Arab területről, mely az erősen meszes talajokra jellemző. E két talajminta fizikai és kémiai tulajdonságait az I. táblázat adatai mutatják.

1. táblázat

A Bahteem és Burg El-Arab talajok néhány fizikai jellemzője és kémiai tulajdonságai

| (1) Mintavétel helye | (2) Mechanikai összetétel | pH | (3) Szerves anyag % | CaCO ₃ % | (4) Mechanikai elemzés frakciói, % | | | |
|-------------------------|---------------------------------|------|------------------------------|------------------------|--|----------------|-------|-------|
| | | | | | durva homok | finom homok | iszap | agyag |
| Bahteem | a) Agyagos vályog | 8,30 | 1,45 | 3 | 2 | 27 | 24 | 47 |
| Burg El-Arab | b) Homokos agyagos vályog | 8,50 | 0,70 | 52 | 21 | 38 | 19 | 22 |

Ráδιοizotóp technika

Vizsgálataink során hordozómentes ⁵⁴Mn preparátumot használtunk, 0,1 n. kénsav oldatban oldott MnSO₄ formájában. Ennek az izotópnak felezési ideje 310 nap, K elektron befogással bomlik különböző, 0,835 MeV energiájú γ sugárzást kibocsátva. A minták aktivitását Nuclear Chicago gyártmányú γ spektrométer segítségével mértük. A különböző mangánformák meghatározására szolgáló módszereket az alábbiakban ismertetjük:

a) *Vízben oldható mangán*

5 g talajmintát és 50 ml desztillált vizet rázólabdikokba mértünk be. Az edényeket csuklós rázógépen 24 órán át ráztuk, hogy az egyensúly a talaj és az oldat mangántartalma között beálljon. Minden edénybe 1,5 μ Ci hordozói mentes ⁵⁴Mn preparátumot mértünk be és a rázást további 24 órán át folytattuk, hogy az oldat ⁵⁴Mn tartalma és a talaj ⁵⁵Mn tartalmának különböző formák között az egyensúly szintén beálljon.

Az egyensúly beállításához szükséges idő eltelte után, az egyensúlyi oldatot a szuszpenzióknak 2000 fordulatszám mellett, 5 percig tartó centrifugálásával nyertük ki. A vizes kivonatot összegyűjtöttük, ⁵⁴Mn, valamint ⁵⁵Mn tartalmát meghatároztuk és minden mintából számítottuk a fajlagos aktivitás értékét.

b) *Kicserélhető mangán*

A vizes kivonat kinyeréséhez szükséges centrifugálás után, minden centrifugacső tartalmát kvantitatíve 100 ml-es rázólabdikokba vittük át, a mintákhoz egyenként 50 ml 7 pH-jú normál ammóniumacetát oldatot adtunk, 1 órán át ráztuk, majd centrifugáltuk. A kapott oldat ⁵⁴Mn és ⁵⁵Mn tartalmát meghatároztuk. A fajlagos aktivitást számítottuk és értékét mint az egyensúlyban mért kicserélhető mangán mennyiségét adtuk meg.

c) *Kelát formába átvihető mangán*

Az ammóniumacetátos kezelés után a mintákat desztillált vízzel mostuk és a centrifugacső tartalmát kvantitatíve 100 ml-es rázóedényekbe vittük át, majd 50 ml normálammóniumacetát oldatban oldott 0,1 n ZnSO₄ oldat 50 ml-ét

mértük hozzá. Az edényeket 7,5, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 960 és 1440 percig ráztuk és a kivonatokat minden fenti időtartam letelte után centrifugáltuk, és félretettük. A kivonatokból az ^{54}Mn és ^{55}Mn mennyiségét meghatároztuk és minden időtartamra vonatkozóan a fajlagos aktivitást számítottuk.

d) *Hidrokinonban oldható mangán*

Azokat a talajmintákat, amelyeket előzőleg normál ammóniumacetátban oldott 0,1 n ZnSO_4 oldattal 120 percig extraháltunk, desztillált vízzel mostuk és 4 csoportba osztottuk őket. Az első csoport mintáit ismét kvantitatíve 100 ml-es rázóedényekbe vittük át normál nátriumacetátban oldott 0,2%-os hidrokinon oldattal. A hidrokinonos kivonatokat 30, 60, 120 és 240 perc eltelte után elemeztük. Azonos technikát alkalmazva, a 2-es, 3-as és 4-es csoport mintáit 50 ml normál ammóniumacetátban oldott 0,05, 0,025 és 0,01%-os hidrokinon oldattal kezeltük és a szuszpenziókat a fent említett időtartamokig ráztuk. A kivonatokat az időtartamok letelte után centrifugálással nyertük ki. Minden kivonathból az ^{54}Mn és ^{55}Mn mennyiségét meghatároztuk, majd a fajlagos aktivitásokat számítottuk.

Vizsgálati eredmények és értékelésük

A 2. táblázaton közöljük mind a Bahteem, mind a Burg El-Arab talajmintákból az oldható és kicserélhető mangántartalomra vonatkozó ^{54}Mn és ^{55}Mn adatok középértékeit, a vizes, valamint ammóniumacetátos kivonat fajlagos aktivitás értékeit és az aktivitás értékeket a talajhoz adott összes aktivitás %-ban. Az adatok szerint mindkét frakció fajlagos aktivitása közel azonos. A Bahteem talajban a vízben oldható mangántartalom az egyensúlyi mangántartalomnak csak kb. 0,4, míg a kicserélhető mangán már 3,8%-át teszi ki. Az adatokból az is kitűnik, hogy noha a Bahteem talaj vízben oldható és kicserélhető mangántartalma jóval nagyobb, mint a Burg El-Arab talaj megfelelő értékei, az utóbbiban magasabbak az egyensúlyi mangántartalomhoz viszonyított %-os értékek (0,9, illetve 10,2%). Ez feltehetően annak eredménye, hogy az öntéstalajnak összes mangántartalma nagyobb, mint a meszes talajé.

2. táblázat

A vízben oldható és kicserélhető mangántartalom középértékei a Bahteem és Burg El-Arab talajmintákban. (^{55}Mn és ^{54}Mn mennyisége)

| (1) Talajminta | (2) Mn frakció | ^{55}Mn $\mu\text{g/g}$ | (3) ^{54}Mn aktivitás imp/perc | (4) Fajlagos aktivitás $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$ imp/perc/ μg | (5) A talajhoz adott aktivitás %-ában ^a |
|-------------------|-------------------|-------------------------------------|---|---|--|
| Bahteem | a) oldható | 0,71 | 866 | 1 220 | 0,40 |
| | b) kicserélhető | 6,25 | 7 560 | 1 210 | 3,80 |
| Burg El-Arab | a) oldható | 0,59 | 1 960 | 3 630 | 0,90 |
| | b) kicserélhető | 5,80 | 22 150 | 3 647 | 10,20 |

* A talajhoz adott aktivitás 1,5 μCi ^{54}Mn

A n ammóniumacetátban oldott 0,1 n $ZnSO_4$ -tal kivont ^{54}Mn és ^{55}Mn mennyiségét az extrahálás ideje is befolyásolta. A fajlagos aktivitás értékeket, valamint a kivonatok aktivitását a talajhoz adott összes aktivitás %-ában, mind a Bahteem, mind a Burg El-Arab talajra vonatkozóan a 3. táblázatban közöljük.

3. táblázat

A ^{55}Mn és ^{54}Mn mennyisége n ammóniumacetátban oldott 0,1 n $ZnSO_4$ oldattal való kioldás és ^{54}Mn -al történő egyensúlyba állítás után, Bahteem és Burg El-Arab talajmintákban

| (1) Kioldás ideje (perc) | (2) Bahteem talaj | | | | (3) Burg El-Arab talaj | | | |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------|--|---|---------------------------|-----------------------|--|---|
| | ^{55}Mn $\mu g/g$ | ^{54}Mn imp/perc | (4) Fajlagos aktivitás $\frac{^{54}Mn}{^{55}Mn}$ imp/perc/ μg | (5) a talajhoz adott aktivitás %-ában | ^{55}Mn $\mu g/g$ | ^{54}Mn imp/perc | (4) fajlagos aktivitás $\frac{^{54}Mn}{^{55}Mn}$ imp/perc/ μg | (5) a talajhoz adott aktivitás %-ában |
| 7,5 | 45 | 57 200 | 1 217 | 26 | 14 | 50 400 | 3 600 | 23 |
| 15 | 47 | 58 590 | 1 242 | 27 | 15,5 | 56 270 | 3 630 | 26 |
| 30 | 51 | 63 730 | 1 250 | 29 | 17 | 62 170 | 3 654 | 28 |
| 60 | 54 | 65 900 | 1 220 | 30 | 20 | 72 400 | 3 620 | 33 |
| 120 | 57 | 69 800 | 1 225 | 32 | 23 | 83 370 | 3 625 | 38 |
| 240 | 65 | 71 920 | 1 090 | 33 | 27 | 83 700 | 3 100 | 38 |
| 480 | 68 | 70 250 | 1 033 | 32 | 31 | 92 500 | 2 984 | 43 |
| 960 | 73 | 69 870 | 957 | 32 | 34 | 89 000 | 2 647 | 41 |
| 1440 | 80 | 71 250 | 890 | 33 | 37 | 97 300 | 2 567 | 45 |

Az adatokból kitűnik, hogy a $ZnSO_4$ kioldotta a szerves frakció kelát alakjában levő mangántartalmának azon részét, mely az oldatban levő mangánnal egyensúlyban volt 2 órai rázás után. Ez nyilvánvaló, ha megfigyeljük, hogy az első 2 óra alatt kioldott mangánra vonatkozó fajlagos aktivitás értékek állandók. Hosszabb időtartamú, 0,1 n $ZnSO_4$ -tal történő kioldással nem egyensúlyi mangán, feltehetően a könnyen redukálható mangán egy része szabadul fel, ahogyan ez az ^{55}Mn értékek növekedéséből és abból látható, hogy a kivonatok konstans aktivitása mellett a fajlagos aktivitás fokozatosan csökken a kioldási időtartam növekedésével. A Burg El-Arab talajnál ugyanezen tendencia figyelhető meg és hasonló eredményeket kaptunk. A táblázat adatai alapján megállapítható, hogy a Bahteem talajból 0,1 n $ZnSO_4$ -tal több mint 2 órán áti kioldás után kapott ^{55}Mn mennyisége, melyet az oldat mangántartalmával egyensúlyban levőnek tekintettünk, nagymértékben felülmúlta a Burg El-Arab talajban mért értékeket. Ez annak tulajdonítható, hogy a Burg El-Arab talaj szervesanyag tartalma jóval kisebb a Bahteem talajéhoz képest, ez utóbbi talaj szervesanyag tartalma ugyanis előbbinek kétszerese.

REID és MILLER [6] 7 pH-jú, 7,8% szervesanyag tartalmú Gilford vályog-talajt vizsgálták, melynek könnyen redukálható és összes mangántartalma alacsony volt. Kioldási eljárásuk szerint a talajt 0,5 n $ZnSO_4$ oldattal 144 órán át rázták, hogy az oldatban levő mangánnal egyensúlyban levő, kelát alakjában kötött mangán legnagyobb részét kivonják. A kelát alakjában levő mangánnak az a része, melyet e talajból a fenti eljárással kioldottak, 38 $\mu g/g$ volt. Az itt közölt adataink azt mutatják, hogy az oldatban levő mangánnal egyen-

súlyban levő, kelát formájában kötött mangán mennyisége kb. $57 \mu\text{g/g}$ és $23 \mu\text{g/g}$, amely a Bahteem, illetve a Burg El-Arab talajban a teljes egyensúlyi mangánmennyiség 32, illetve 38%-át jelenti. Ezek az értékek relatíve magasnak tűnnek, ha összehasonlítjuk a Gilford vályogból kioldott mangánértékekkel, annak ellenére, hogy annak szervesanyag tartalma nagyobb. Vizsgálataink során kapott, relatíve magas kelát alakjába átvihető mangánértékek annak alapján magyarázhatók, hogy a ZnSO_4 kioldószerrel eltávolítottuk a talajból a háromvegyértékű mangán egy részét is, amelyről úgy véltük egyensúlyban van az oldat mangántartalmával. Ezt a magyarázatot alátámasztotta az a megfigyelésünk, hogy vizsgálataink során a ZnSO_4 az eredeti talajmintából több mangánt oldott ki, mint ugyanazon talajból, ha azt előzőleg pyrofoszfát oldattal kezeltük, és így a háromvegyértékű formát kioldottuk Dixon és Mann [1] szerint. Ehhez az is hozzáfűzhető, hogy a 0,1 n ZnSO_4 -tal kioldott ^{55}Mn mennyiségének a kioldási idő növekedésével történő fokozatos emelkedése is megerősíti a fenti magyarázatot és bizonyítékuul szolgál arra nézve, hogy a hosszabb ideig tartó, ZnSO_4 -os kioldás a hidrokintonban oldható oxidok bizonyos mértékig történő oldódását eredményezheti. Ez a megállapítás összhangban van Reid és Miller [6] megfigyeléseivel. Úgy találták, hogy a 144 órán túli, ZnSO_4 -tal való extrahálás némi csökkenést okozott a hidrokintonban oldható frakció mennyiségében. Másrészt a kelát alakjában levő mangánnak az a relatíve alacsonyabb értéke, amelyet a Gilford vályogtalajnál megfigyeltek, feltehetően összefügg a könnyen redukálható és az összes mangántartalom alacsony értékével, az ilyen talajon fejlődő növényeken ugyanis mangánhiány tünetei mutatkoztak.

4. táblázat

A pyrofoszfáttal és ZnSO_4 -tal egymásután következő kioldás hatása a Bahteem és Burg El-Arab talajmintákon

| Kioldó szer | Talajminta | Bahteem talaj $\mu\text{g/g}$ | Burg El-Arab talaj $\mu\text{g/g}$ |
|---|------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 0,1 mólos Na pyrofoszfáttal 0,1 n ZnSO_4 -tal | | 85 | 13 |
| (a három vegyértékű mangán ionok eltávolítása után) | | 43 | 13,5 |
| csak 0,1 n ZnSO_4 -tal | | 55 | 21 |

A hidrokintonban oldható mangánnal kapcsolatban az alábbi vizsgálato-
kat végeztük: azokat a talajmintákat, amelyeket előzőleg normál ammónium-
acetátban oldott 0,1 n ZnSO_4 -tal kezeltünk, különböző koncentrációjú hidro-
kinon oldatokkal (0,2, 0,05, 0,025, 0,01%) különböző ideig (30, 60, 120, 240
perc) extraháltuk. Az ^{54}Mn és ^{55}Mn mennyiségét, melyet a kelát alakjában
levő mangán eltávolítását követően, különböző koncentrációjú hidrokinton
oldatokkal oldottunk ki, a Bahteem talajra vonatkozóan az 5. táblázat,
a Burg El-Arab talajra vonatkozóan a 6. táblázat adatai mutatják.

A Bahteem talajnál nyilvánvaló, hogy már 30 perces kioldás után is
a 0,2, 0,05 és 0,025%-os hidrokinton oldat kioldott nem egyensúlyi mangánt
is, amely igen kis fajlagos aktivitási értékeket adott. A fajlagos aktivitás-

5. táblázat

Az ^{55}Mn és ^{54}Mn tartalom különböző koncentrációjú hidrokínon oldattal történő kioldása, a kelát mangánnak ZnSO_4 -tal történő kioldását követően

| (1) Hidrokinon % | (2) Kioldás ideje (perc) | ^{55}Mn $\mu\text{g/g}$ | ^{54}Mn imp/perc | (3) Fajlagos aktivitás $\frac{^{54}\text{Mn}}{^{55}\text{Mn}}$ imp/perc/ μg | (4) A talajhoz adott aktivitás %-ában |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|---|
| 0,2 | 30 | 325 | 135 880 | 402 | 61,8 |
| | 60 | 355 | 136 130 | 383 | 61,9 |
| | 120 | 355 | 135 520 | 382 | 61,6 |
| | 240 | 355 | 140 916 | 397 | 64,0 |
| a) Középpérték | | 348 | | 391 | 62,3 |
| 0,05 | 30 | 285 | 119 450 | 414 | 54,3 |
| | 60 | 300 | 130 810 | 436 | 59,5 |
| | 120 | 300 | 135 790 | 452 | 61,7 |
| | 240 | 300 | 138 790 | 462 | 63,0 |
| a) Középpérték | | 296 | | 441 | 59,6 |
| 0,025 | 30 | 240 | 115 420 | 480 | 52,4 |
| | 60 | 255 | 125 200 | 490 | 57,0 |
| | 120 | 255 | 129 900 | 504 | 59,0 |
| | 240 | 255 | 133 300 | 523 | 60,0 |
| a) Középpérték | | 251 | | 494 | 57,1 |
| 0,01 | 30 | 120 | 114 040 | 950 | 51,9 |
| | 60 | 130 | 121 100 | 932 | 55,0 |
| | 120 | 130 | 126 850 | 975 | 57,7 |
| | 240 | 130 | 129 860 | 990 | 59,0 |
| a) Középpérték | | 127 | | 962 | 56,0 |

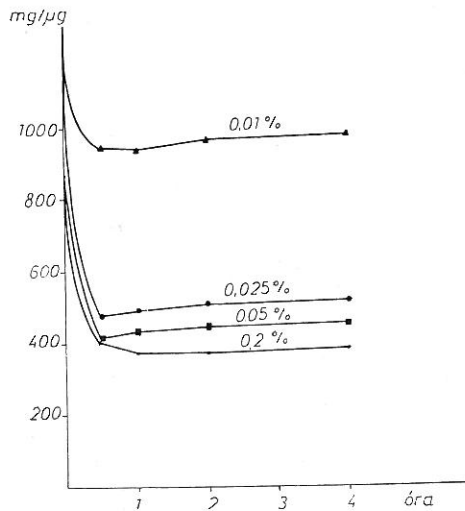
* A talajhoz adott aktivitás $1,5 \mu\text{Ci } ^{54}\text{Mn}$

értékek annál kisebbek voltak, minél nagyobb volt a hidrokínon koncentrációja, azaz 969, 499, 441 és 392 imp/ μg Mn a 0,01, 0,025, 0,05 és 0,2%-ot hidrokínon koncentrációknak megfelelően. A Bahtem talajból kioldott ^{55}Mn mennyiségét tekintve (5. táblázat) nyilvánvaló, hogy ha a redukáló közeg koncentrációját állandónak vesszük és a kioldás idejét 1 órától 4 órára növeljük, nincs változás a kioldható mangántartalomban. Ellenkezőleg viszont, ha a kioldás idejét tekintjük állandónak és változtatjuk a redukáló közeg koncentrációját, a kioldott mangán mennyiségét ez jelentős mértékben befolyásolja. Pl. 1 órai kioldás után ezek az értékek 355, 300, 255 és 130 $\mu\text{g/g}$ voltak 0,2, 0,05, 0,025 és 0,01%-os hidrokínon koncentrációknak megfelelően.

Ebből arra lehet következtetni, hogy a hidrokínonban oldható mangántartalmat a redukáló közeg koncentrációja nagyobb mértékben befolyásolja, mint a kioldás időtartama és e frakció visszanyerésére a talajnak az oldattal 1 órán át történő rázása elegendőnek látszik. A Burg El-Arab talaj esetén a megfigyelt adatok alapján ugyanezre a következtetésre jutottunk. Ennek a megfelelő hidrokínon koncentrációnak a definiálása céljából, amely az oldat

mangántartalmával egyensúlyban levő könnyen redukálható mangán kioldásához szükséges, a különböző hidrokinon koncentrációknál nyert fajlagos aktivitás adatokat összehasonlítottuk az oldat mangántartalmára vonatkozó fajlagos aktivitás értékekkel.

Az a hidrokinon koncentráció, amelynél a fajlagos aktivitás értékek azonosak az oldat mangántartalmának megfelelő értékeivel, a mangán más formáival ténylegesen egyensúlyban levő, könnyen redukálható mangán mennyiségét kielégítő pontossággal meghatározza.



1. ábra

Különböző koncentrációjú hidrokinon oldattal kioldott Mn tartalomra vonatkozó fajlagos aktivitás értékek Bahtem talajon. Vízszintes tengely: idő (óra). Függőleges tengely: fajlagos aktivitás imp/μg

Az 5. táblázatban és az 1. ábrán látható, hogy a 0,01%-os hidrokinonnal történő 1—4 órás kioldással megközelíthető a könnyen redukálható mangántartalom azon része, amely az oldat mangántartalmával egyensúlyban van és ez az érték az egyensúlyi mangántartalom 56%-a. A fajlagos aktivitás középértéke ebben a kivonatban 962 imp/perc/μg volt, mely közel egyenértékű azzal, amit az oldatban kaptunk (1220 imp/perc/μg). A fajlagos aktivitás értékekben mutakozó éles csökkenés, amely 0,2, 0,05 és 0,025%-os hidrokinonos kioldásnál észlelhető, csak úgy magyarázható, hogy ezek a hidrokinon koncentrációk magasabbak, mint amelyek a többi formával ténylegesen egyensúlyban levő magasabb vegyértékű oxidok redukálásához szükségesek, és nagy mennyiségű nem egyensúlyi mangánt oldanak ki.

Érdemes megemlíteni, hogy a vízzel, ammóniumacetáttal, 0,1 n ZnSO₄-tal és 0,01%-os hidrokinonnal kioldott aktivitások összege a talajhoz adott aktivitásnak kb. 93%-át adta. Ilyenformán úgy látszik, hogy ezekkel az egymás után következő kioldásokkal kinyertük a talajból közel az összes, az oldattal egyensúlyban levő mangántartalmat. Másrészt az azonos fajlagos aktivitást mutató kivonatokban mért ⁵⁵Mn mennyisége, melyet az előbb említett folya-

matos kioldással nyertünk vissza, sokkal kisebb volt, mint amelyet csak 0,2%-os hidrokinnal oldottunk ki. Ezek az értékek 220 $\mu\text{g/g}$ körül mozogtak összehasonlítva a csak 0,2%-os hidrokinnal kioldott 355 $\mu\text{g/g}$ értékekkel.

Ez azt bizonyítja, hogy az olyan kioldószer, amellyel az egyezményesen könnyen redukálható mangánnak nevezhető mangánmennyiséget vonják ki, nem tekinthető minden talajra nézve megfelelő kioldószernek.

A Burg El-Arab talajra vonatkozó adatok alapján (6. táblázat, 2. ábra) világosan kitűnik, hogy 0,025%-os hidrokinnal oldattal történő 1–4 óráig tartó kioldás megközelíti az egyensúlyi, könnyen redukálható mangán mennyiségét a Burg El-Arab talajban, minthogy ezen kioldás után kapott fajlagos aktivitás értékek középértéke 3248 imp/perc/ μg Mn volt, és az oldható és kicserélhető frakcióknak megfelelő értékekhez közel esik (3630, illetve 3647 imp/perc/ μg Mn). Az ezzel a módszerrel kioldott mangánmennyiség az egyensúlyi mangánmennyiség 42%-a.

Az összes aktivitás, melyet vízzel, ammóniumacetáttal, ZnSO_4 -tal és 0,025%-os hidrokinnal oldattal egymásután következő kioldással nyertünk, a talajhoz adott összes aktivitás kb. 91%-át adta.

DION és MANN [1] beszámolnak arról, hogy magas pH-jú talajokban a mangántartalom igen jelentős része feltehetően háromvegyértékű és puffertolt Na pyrofoszfát oldatban oldható, többé-kevésbé nagy víztartalmú mangán oxidok formájában van jelen a talajban. Ilyenformán különösen érdekesnek találtuk a mangán ezen frakciójának meghatározását, mind a Bahteem, mind

6. táblázat

Az ^{55}Mn és ^{54}Mn tartalom különböző koncentrációjú hidrokinnal oldattal történő kioldása, a kelát mangánnak ZnSO_4 -tal történő kioldását követően. (Burg El-Arab talajminta)

| (1) Hidrokinnal % | (2) Kioldás ideje (perc) | ^{55}Mn $\mu\text{g/g}$ | ^{54}Mn imp/perc | (3) Fajlagos aktivitás $\frac{^{54}\text{Mn}}{^{55}\text{Mn}}$ imp/perc/ μg | (4) A talajhoz adott aktivitás %-ában |
|-------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|---|---|
| 0,2 | 30 | 36 | 93 250 | 2 589 | 42,4 |
| | 60 | 38 | 95 700 | 2 518 | 43,5 |
| | 120 | 40 | 95 900 | 2 524 | 44,0 |
| | 240 | 40 | 97 700 | 2 442 | 44,4 |
| a) Középérték | | 38,5 | | 2 518 | 43,3 |
| 0,05 | 30 | 32 | 91 250 | 2 850 | 41,5 |
| | 60 | 32 | 93 170 | 2 928 | 42,3 |
| | 120 | 34 | 93 250 | 2 743 | 42,4 |
| | 240 | 35 | 94 210 | 2 692 | 42,8 |
| a) Középérték | | 34 | | 2 803 | 42 |
| 0,025 | 30 | 27 | 91 750 | 3 400 | 41,7 |
| | 60 | 28 | 91 610 | 3 372 | 41,6 |
| | 120 | 30 | 92 470 | 3 082 | 42,0 |
| | 240 | 30 | 93 580 | 3 120 | 42,5 |
| a) Középérték | | 28 | | 3 248 | 41,9 |

* A talajhoz adott összes aktivitás 1,5 μCi ^{54}Mn

7. táblázat

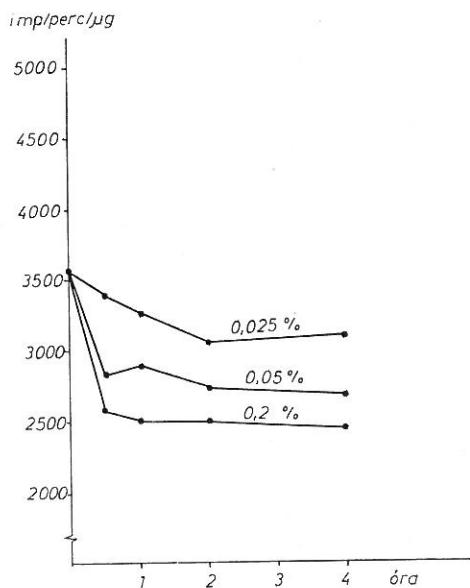
Pyrofoszfát és hidrokínon oldatokkal kioldott ⁵⁵Mn mennyisége Bahteem és Burg El-Arab talajmintákban

| (1) Talajminta | (2) 0,1 mólos pyrofoszfáttal kioldott µg/g | (3) 0,01%-os hidrokínon oldattal kioldott µg/g | (4) 0,025%-os hidrokínon oldattal kioldott µg/g | (5) Mn ²⁺ a hidro- kínonban old- ható mangán %-ában |
|-------------------|--|--|--|--|
| Bahteem | 85 | 126 | — | 67,5 |
| Burg El-Arab | 16 | — | 26 | 62 |

a Burg El-Arab talajnál és azon mennyiségek összehasonlítását, melyek 0,01 és 0,025%-os hidrokínonnal oldottunk ki.

A 7. táblázat adatai alapján nyilvánvaló, hogy a 0,01 és 0,025%-os hidrokínon kioldószerekkel kivont mennyiség mind a Bahteem, mind a Burg El-Arab talajnál magában foglalja a pyrofoszfáttal kioldott részt, azaz a háromvegyértékű mangán és ezen felül a frissen kicsapódott és a többi mangánformával egyensúlyban levő, magasabb vegyértékű oxidok egy részét is.

WEIR és MILLER [7] rámutattak arra, hogy minden háromvegyértékű mangán az oldattal egyensúlyban levőnek tekinthető és a talajhoz adott teljes aktivitást visszanyerték ZnSO₄, illetve Na-pyrofoszfáttal történő kioldás után. Megállapítható tehát, hogy a háromvegyértékű mangán, a 0,01%-os



2. ábra

Különböző koncentrációjú hidrokínon oldattal kioldott Mn tartalomra vonatkozó fajlagos aktivitás értékek Burg El-Arab talajon. Vízszintes tengely: idő (óra). Függőleges tengely: fajlagos aktivitás, imp/perc/µg

8. táblázat

A különböző mangánformákra vonatkozó fajlagos aktivitások középértékei (imp/perc/ μg Mn) Bahteem és Burg El-Arab talajban

| (1) Talajminta | (2) Oldható | (3) Kicserélhető | (4) Kelát alak- jában át- vihető | 0,01 | 0,025 | 0,05 | 0,2 |
|-------------------|----------------|---------------------|---|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| | | | | (5) Hidrokinonban oldható % | | | |
| Bahteem | 1 220 | 1 210 | 1 225 | 962 | 499 | 441 | 391 |
| Burg El-Arab | 3 630 | 3 647 | 3 625 | — | 3 248 | 2 803 | 2 518 |

hidrokinon oldattal kioldott egyensúlyi mangán 67,5%-át jelenti öntéstalajon, figyelembe véve azt, hogy a fajlagos aktivitás ebben az oldatban kicsit alacsonyabb volt, mint a talajoldat fajlagos aktivitása.

Azonos megfontolás alapján a háromvegyértékű mangán a Burg El-Arab talajban a 0,025%-os hidrokinon oldattal kioldható egyensúlyi mangántartalom 62%-a.

Ahogy arra már az előbbieken rámutattunk, az elem minden, az oldattal egyensúlyban levő formájára vonatkozó fajlagos aktivitás értéke azonos az oldatéval. Az egymásutáni kioldásokkal kapott fajlagos aktivitás értékek alapján (8. táblázat) arra lehet következtetni, hogy mind a Bahteem, mind a Burg El-Arab talajokban az egyensúlyi mangántartalom magában foglalja a vízben oldható, kicserélhető, kelát alakjában átvihető és a hidrokinonban oldható mangánt. (Ez utóbbit a Bahteem talajnál 0,01, a Burg El-Arab talajnál 0,025%-os hidrokinonnal történő kioldással kaptuk.)

Másrésről a 0,2%-os hidrokinon oldat, amelyet általában az ún. könnyen redukálható mangán kioldására használnak, nem látszik alkalmas kivonószernek egészen addig, amíg az általa kivont mangántartalmat egyensúlyi frakciónak tekintjük. Érthető azonban, hogy a növények által ténylegesen felvett mangán mennyiségének értékelésekor egyebek mellett ezeknek a kivonószereknek megbízhatóságát és pontosságát a különböző formában levő felvehető mangántartalom mérésével kapcsolatban figyelembe kell venni.

Összefoglalás

Jelen tanulmányunk célja volt a talajnak a talajoldat mangántartalmával egyensúlyban levő mangánformáinak vizsgálata, valamint ezen formák azonosítása öntés- és meszes talajokon.

A laboratóriumi vizsgálatok szerint, az egyensúlyi mangántartalmat mindkét talajban a vízben oldható, a kicserélhető, a kelát alakjában normál ammóniumacetátban oldott 0,1 n ZnSO_4 oldattal 2 óra alatt kivonható és a könnyen redukálható mangán egy része képezi. Ez utóbbi az öntéstalajnál a 0,01%-os hidrokinonnal, a meszes talajnál a 0,025%-os hidrokinonnal kioldható mennyiséget jelenti.

A talajt ezen kioldószerekkel kezelve és ezt követően ^{54}Mn izotóppal egyensúlyba állítva, gyakorlatilag mindazokat a mangánformákat kinyertük a talajból, amelyek az oldatban levő ^{54}Mn izotóppal egyensúlyba jutottak.

Másrésről a konvencionális kivonószerként használt 0,2%-os hidrokinon oldat, amellyel az ún. könnyen redukálható mangánt szokták kioldani,

mindkét talajban már 30 perces kioldási idő után is az oldattal egyensúlyban nem levő mangánt is kioldott, míg az öntéstalajnál a 0,01%-os, illetve a meszes talajnál a 0,025%-os hidrokinon oldat által kioldott mangánmennyiség jól megközelíti a könnyen redukálható mangán azon részét, amely a talajoldatban levő mangánnal egyensúlyban van. Ez a frakció megközelíti a 0,1 n Na-pyroszfáttal kivonható háromvegyértékű mangán mennyiségét.

Irodalom

- [1] DION, H. G. & MANN, P. J. G.: Three valent manganese in soils. *J. Agric. Sci.* **36**. 239—245. 1946.
- [2] FUJIMOTO, C. K. & SHERMAN, G. D.: Behaviour of Mn in the soil and the Mn cycle. *Soil Sci.* **66**. 131—145. 1948.
- [3] JACKSON, M. L.: Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs. N. J. 1958.
- [4] LEEFER, G. W.: The forms and reactions of manganese in the soil. *Soil Sci.* **63**. 79—94. 1947.
- [5] MANN, P. J. G. & QUASTEL, J. H.: Manganese, metabolism in soils. *Nature.* **158**. 154—156. 1946.
- [6] REID, A. S. J. & MILLER, M. H.: The manganese cycle in soils. II. Forms of soil manganese in equilibrium with solution manganese. *Can. J. Soil. Sci.* **43**. 250—295. 1963.
- [7] WEIR, C. C. & MILLER, M. H.: The manganese cycle in soil. I. Isotopic exchange reaction of ^{54}Mn in an alkaline soil. *Can. J. Soil. Sci.* **42**. 105—114. 1962.
- [8] WILLARD, H. H. & GREATHOUSE, L. H.: The colorimetric determination of Mn by oxidation with periodate. *J. Am. Chem. Soc.* **39**. 2366—2377. 1917.

Érkezett: 1972. július 7.

Manganese Equilibria in Alluvial and Calcareous Soils

A. I. METWALLY, A. H. EL-DAMATY and A. A. HAMDY

Soils Department, Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Cairo (Egypt)

Summary

The aim of this work was to study the forms of soil manganese in equilibrium with solution manganese and to identify these forms using tracer technique in both alluvial and calcareous soils.

Laboratory investigations showed that the equilibrium manganese content in both soils included water soluble, exchangeable and chelated manganese (as extracted during 2 hours by 0,1 N ZnSO_4 dissolved in N NH_4Ac) as well as a portion of easily reducible manganese that is extracted by 0,01% hydroquinone in the alluvial and 0,025% hydroquinone in the calcareous soil, respectively. Extraction of the soil with those extractants following equilibration with ^{54}Mn practically removed all soil manganese that reached equilibrium with ^{54}Mn in solution. On the other hand, the conventionally (0,2% hydroquinone used to extract the easily reducible manganese) extracted non-equilibrium manganese in both soils even after the first 30 minutes of extraction, while manganese extracted by 0,01% and 0,025% hydroquinone from alluvial and calcareous soils, respectively, seems to approximate the portion of easily reducible manganese that is in equilibrium with the solution manganese. This fraction was found to approximate the trivalent manganese as extracted by 0,1 sodium pyrophosphate.

Table I. Some physical characteristics and chemical properties of Bahteem and Burg El-Arab soils. (1) Soil sample. (2) Soil texture. a) Clay loam. b) Sandy clay loam. (3) Organic matter, %. (4) Mechanical fractions in %: coarse sand, fine sand, silt, clay.

Table 2. Average values of soluble and exchangeable Mn (^{55}Mn and ^{54}Mn) in soil samples of Bahteem and Burg El-Arab. (1) Soil sample. (2) Mn fraction. a) Soluble. b) Exchangeable. (3) ^{54}Mn , cpm. (4) Specific activity $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$, (5) % of activity added. * Activity added: 1,5 μCi ^{54}Mn .

Table 3. Extraction of ^{55}Mn and ^{54}Mn using 0,1 N ZnSO_4 dissolved in 1 N NH_4Ac following equilibrium with ^{54}Mn in soil samples from Bahteem and Burg El-Arab. (1) Time of extraction, min. (2) Bahteem soil sample. (3) Burg El-Arab sample. (4) Specific activity, $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$, (5) % of activity added.

Table 4. Effect of successive extraction by pyrophosphate and ZnSO_4 in soil samples from Bahteem and Burg El-Arab.

Table 5. Extraction of ^{55}Mn and ^{54}Mn by hydroquinone solutions of varying concentrations following removal of chelated manganese by ZnSO_4 in a soil sample of Bahteem. (1) Hydroquinone, %. (2) Time of extraction, min. (3) Specific activity, $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$. (4) % of activity added. * Activity added: 1,5 μCi ^{54}Mn .

Table 6. Extraction of ^{55}Mn and ^{54}Mn by hydroquinone solutions of varying concentrations following removal of chelated manganese by ZnSO_4 in soil samples of Burg El-Arab. Signs see: Table 5.

Table 7. Extraction of ^{55}Mn by pyrophosphate and hydroquinone solutions in soil samples of Bahteem and Burg El-Arab. (1) Soil sample. (2) Pyrophosphate, 0,1 M μg . (3) Hydroquinone 0,01 % $\mu\text{g}/\text{g}$. (4) Hydroquinone 0,025 % $\mu\text{g}/\text{g}$. (5) % of Mn^{3+} from the hydroquinone Mn.

Table 8. Average values of specific activities c. p. m./ μg Mn for different forms of manganese in soil samples from Bahteem and Burg El-Arab. (1) Soil sample. (2) Soluble. (3) Exchangeable. (4) Chelated. (5) Hydroquinone: 0,01, 0,025, 0,05, 0,2%.

Fig. 1. Specific activity of Mn extracted by hydroquinone solutions of various concentrations from a Bahteem soil. Vertical axis: specific activity cpm/ μg . Horizontal axis: time in hours.

Fig. 2. Specific activity of Mn extracted by hydroquinone solutions of various concentrations from a Burg El-Arab soil. Vertical axis: Specific activity, cpm/ μg . Horizontal axis: time in hours.

Equilibre de manganèse dans des sols alluviaux et calcaires

A. I. METWALLY, A. H. EL-DAMATY et A. A. HAMDY

Université Ain Shams, Faculté d'Agronomie, Chaire de la Science du Sol, Le Caire (RAU)

Résumé

L'objet des recherches était d'étudier les formes de manganèse du sol en équilibre avec du manganèse dans la solution de sol et d'identifier ces formes à l'aide des traceurs dans les sols alluviaux et calcaires.

Les analyses au laboratoire ont démontré que dans ces sols la teneur en manganèse équilibré se compose du manganèse soluble dans l'eau, du manganèse échangeable et du manganèse chélaté extractible avec 0,1 n ZnSO_4 dans 1 n NH_4Ac pendant 2 heures, ainsi que du manganèse facilement réductible. La quantité de ce dernier est celle extraite avec de 0,01 p. c. hydroquinone pour les sols alluviaux et avec de 0,025 p. c. hydroquinone pour les sols calcaires.

Après avoir traité ces sols avec les agents mentionnés et équilibré à l'aide de l'isotope ^{54}Mn on a pratiquement extrait du sol tous les formes de manganèse qui sont parvenus en équilibre avec le ^{54}Mn dans la solution.

D'ailleurs, la solution de 0,2 p. c. hydroquinone qui est généralement employée pour l'extraction du manganèse dit facilement réductible, a dissolu après les premières 30 minutes de l'extraction le manganèse non équilibré dans tous les deux sols. Cependant, le manganèse extrait avec la solution de hydroquinone de 0,01 et 0,025 p. c. dans les sols alluviaux et calcaires, resp., semble à approcher la partie du Mn facilement réductible qui est en équilibre avec le manganèse de la solution. Cette fraction s'approche de la quantité de Mn trivalent extrait avec de 0,1 n de pyrophosphate de sodium.

Tableau 1. Quelques caractéristiques physiques et chimiques des sols de Bahteem et de Burg El-Arab. (1) Échantillons de sol. (2) Texture. a) argile limoneux, b) argile li-

монеux sableux. (3) Matière organique, %. (4) Fractions de l'analyse mécanique, %: sable grossier, sable fin, limon, argile.

Tableau 2. Valeurs moyennes de la teneur en manganèse soluble dans l'eau et échangeable (quantité de ^{55}Mn et ^{54}Mn) dans les échantillons de sol de Bahteem et de Burg El-Arab. (1) Échantillons de sol. (2) Fraction de Mn, a) soluble, b) échangeable. (3) ^{54}Mn , c. p. m., imp/min. (4) Activité spéciale $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$. (5) Pourcentage de l'activité employée. *Activité employée: 1,5 $\mu\text{Ci } ^{54}\text{Mn}$.

Tableau 3. Quantité du ^{55}Mn et ^{54}Mn extraite avec de 0,1 n ZnSO_4 dans 1 n NH_4Ac après l'équilibration avec du ^{54}Mn dans des échantillons de sol de Bahteem et Burg El-Arab. (1) Durée de l'extraction, min. (2) Échantillon de sol de Bahteem. (3) Échantillon de sol de Burg El-Arab. (4) Activité spéciale $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$, imp/min/ μg . (5) Pourcentage de l'activité employée.

Tableau 4. Effet de l'extraction successive avec du pyrophosphate et ZnSO_4 dans des échantillons de sol de Bahteem et de Burg El-Arab.

Tableau 5. Extraction de ^{55}Mn et ^{54}Mn avec des solutions de hydroquinone de différentes concentrations après la dissolution du Mn chélaté, à l'aide de ZnSO_4 (échantillon de sol de Bahteem). (1) Hydroquinone, %. a) Valeur moyenne. (2) Durée de l'extraction, min. (3) Activité spécifique, imp/min/ μg . $^{54}\text{Mn}/^{55}\text{Mn}$. (4) Pourcentage de l'activité employée (* 1,5 $\mu\text{Ci } ^{54}\text{Mn}$).

Tableau 6. Extraction de ^{55}Mn et ^{54}Mn avec des solutions de hydroquinone de différentes concentrations après la dissolution du Mn chélaté à l'aide de ZnSO_4 (échantillon de sol Burg El-Arab). Légendes voir Tab. 5.

Tableau 7. Quantité de ^{55}Mn extraite avec des solutions de pyrophosphate et d'hydroquinone dans des échantillons de sol de Bahteem et de Burg El-Arab. (1) Échantillons de sol. (2) Extraction avec de 0,1 M pyrophosphate, $\mu\text{g/g}$. (3) Extraction avec d'hydroquinone de 0,01 p. c., $\mu\text{g/g}$. (4) Avec d'hydroquinone de 0,025 p. c., $\mu\text{g/g}$. (5) Mn^{3+} en pourcentage du Mn soluble dans hydroquinone.

Tableau 8. Valeurs moyennes des activités spécifiques (c. p. m./ $\mu\text{g Mn}$) pour les différentes formes de manganèse dans des échantillons de sol de Bahteem et de Burg El-Arab. (1) Échantillon. (2) Mn soluble. (3) Mn échangeable. (4) Mn chélaté. (5) Mn soluble dans hydroquinone de 0,01, 0,025, 0,05 et 0,2 p. c.

Fig. 1. Activité spécifique de manganèse extrait avec des solutions de hydroquinone de différentes concentrations (sol de Bahteem). Axe horizontal: temps(heure). Axe vertical: activité spécifique, imp/ μg .

Fig. 2. Activité spécifique de manganèse extrait avec des solutions de hydroquinone de différentes concentrations (sol de Burg El-Arab). Axe horizontal: temps (heure). Axe vertical: activité spécifique, imp/min/ μg .

Изучение равновесия марганца в аллювиальных и карбонатных почвах

А.И.МЕТВАЛЛИ, А.Х.ЭЛ-ДАМАТИ и А.А. ХАМДИ

Университет Анн-Шамс, Сельскохозяйственный факультет, кафедра почвоведения, Каир (О. А. Р.)

Резюме

В настоящей работе авторы изучали формы марганца в почве, находящиеся в равновесии с марганцом почвенного раствора, а также идентификацию этих форм в аллювиальных и карбонатных почвах.

Данные лабораторных анализов показали, что в обеих почвах марганец, находящийся в равновесном состоянии, представлен воднорастворимым, обменным марганцом, а также марганцом в форме хелата, экстрагируемым за два часа смесью растворов нормального уксуснокислого аммония и 0,1. нормального сернокислого цинка и одной частью легко редуцируемого марганца. Последний представляет собой количество марганца растворимого из аллювиальных почв 0,01 процентным раствором гидрохинона, из карбонатных почв — 0,025 процентным раствором гидрохинона.

Обработывая почву этими растворителями и затем приводя в равновесие с изотопом Mn-54 , практически из почвы извлекаются все формы марганца приведенные в равновесие с изотопом Mn-54 , находящимся в растворе.

С другой стороны, 0,2 процентный раствор гидрохинона, используемый как конвенциональный растворитель, при помощи которого обычно извлекают из почвы т. н. легко редуцируемый марганец, в обоих почвах уже после 30 минут растворил и марганец не находящийся в равновесии с раствором, в то время, как количество марганца, растворенного из аллювиальной почвы 0,01% раствором гидрохинона или из карбонатной почвы 0,025% раствором гидрохинона, приближается к содержанию той части легко редуцируемого марганца, который находится в равновесии с марганцем почвенного раствора. Эта фракция приблизительно равна количеству трехвалентного марганца, переходящего в 0,1 н. вытяжку пирофосфата натрия.

Табл. 1. Некоторые показатели физических и химических свойств почв Бахтеем и Бург Эл-Араб. (1) Место взятия образцов. (2) Механический состав. а) Тяжелый суглинок. б) Средний суглинок. (3) Органическое вещество, в %. (4) Содержание механических фракций почвы в %: грубый песок, тонкий песок, ил и глина.

Табл. 2. Среднее содержание воднорастворимого и обменного марганца в почвах Бахтеем и Бург Эл-Араб (количество Мп-54, Мп-55). (1) Почвенный образец. (2) Фракция марганца. (3) Активность Мп-54 в имп/мин. (4) Удельная активность Мп-54 (Мп-55). (5) Внесенная в почву активность в процентах. * внесенная в почву активность 1,5 μCi Мп-54.

Табл. 3. Количество Мп-55 после растворения смесью растворов нормального уксуснокислого аммония и 0,1 н. сернокислого цинка с последующим приведением в равновесное состояние с изотопом Мп-54 в образцах почвы Бахтеем и Бург Эл-Араб. (1) Время растворения (в минутах). (2) Почва Бахтеем. (3) Почва Бург Эл-Араб. (4) Удельная активность Мп-54/Мп-55 в имп/мин/г. (5) Внесенная в почву активность, %.

Табл. 4. Влияние растворения пирофосфатом с последующим растворением в сернокислом цинке на почвенные образцы Бахтеем и Бург Эл-Араб.

Табл. 5. Растворение Мп-55, Мп-54 в растворе гидрохинона различной концентрации после растворения хелата марганца в растворе сернокислого цинка, почва Бахтеем. (1) Гидрохинон, %. а) Среднее значение. (2) Время растворения в минутах. (3) Удельная активность, имп/мин/г., Мп-54/Мп-55. (4) Внесенная в почву активность в %. * Внесенная в почву активность 1,5 μCi Мп-54.

Табл. 6. Растворение Мп-55, Мп-54 в растворе гидрохинона различной концентрации после растворения хелата марганца в растворе сернокислого цинка, почва Бург Эл-Араб. Обозначения смотри в таблице № 5.

Табл. 7. Количество Мп-55 растворенного в растворах пирофосфата и гидрохинона в почвах Бахтеем и Бург Эл-Араб. (1) Образец почвы. (2) Количество марганца в $\mu\text{g/g}$, растворенного в 0,1 молярном растворе пирофосфата. (3) Количество марганца в $\mu\text{g/g}$, растворенного в 0,01% растворе гидрохинона. (4) Количество марганца в $\mu\text{g/g}$, растворенного в 0,025% растворе гидрохинона. (5) Количество Mn^{3+} в %, растворимого в растворе гидрохинона.

Табл. 8. Средние значения удельных активностей, относящиеся к различным формам марганца, для почв Бахтеем и Бург Эл-Араб (имп/мин/ μg Мп). (1) Почвенный образец. (2) Растворимый. (3) Обменный. (4) В форме хелата. (5) Растворимый в 0,01, 0,025, 0,05 и 0,2%-ых растворах гидрохинона.

Рис. 1. Величины удельных активностей, относящиеся к содержанию марганца, растворимого в гидрохиноне различных концентраций для почвы бахтеем. По горизонтальной оси: время (в часах). По вертикальной оси: удельная активность, имп/ μg .

Рис. 2. Величины удельных активностей, относящиеся к содержанию марганца, растворимого в гидрохиноне различных концентраций, для почвы Бург Эл-Араб. По горизонтальной оси: время (в часах). По вертикальной оси: удельная активность, имп/мин/ μg .