

stricta, *Scirpus caespitosus*), amelyek a réti tőzeget tetemes mélységig mechanikailag szétbontják, miáltal ez a megtámadott tőzegréteg teljesen sötét, feketeszínű (moderrá) alakul át, amelynek további átalakulását még különböző giliszták és más alacsonyabbrendű állatok folytatják. Az ily módon átalakult tőzegfelületen most már elszaporodik a nyír, az éger, amelyek elhalása után a fák maradványaiból egy humuszréteg alakul ki, amelyre most már a luc, az erdei fenyő, de más lombfák is letelepednek és így a réti láp felett erdő alakul ki, amely alatt alnövényzet gyanánt a *Rhamnus frangula*, a *Rubus*ok, de különösen a fenyértképző növények szoktak elszaporodni, amelyek aztán elsősorban közreműködnek abban, hogy elősegítik az erdőben egy magas lápnak a kialakulását, ahogy azt majd később hallani fogjuk.

(Folytatjuk.)

A modern erdőművelés talajbiológiai problémái*

Mélyen tisztelt Uram! Amióta a világ fakészletének megkisebbedésével mind nagyobb és nagyobb mértékben terelődött rá a figyelem az erdőgazdasági többtermelés égető problémáira, nagyon természetes, hogy ennek következtében az a régi irányzat, amely a fősúlyt kizárólag a fa kitermelésére és hasznosítására fektette és az erdők felújításával, továbbá azoknak a művelésével nagyon keveset, vagy semmit sem törődött, lassanként elégtelennek bizonyult arra, hogy az erdőgazdasági termeléssel szemben jelentkező igényeket kielégíthesse. Így terelődött rá a figyelem fokozatosan az erdők állományát alkotó fáknek az életjelenségeire, mert hiszen a közelfekvő cél az volt, hogy ezen életjelenségek megismerésében végre abba a helyzetbe juthassunk, hogy azokat az élettani folyamatokat, amelyek végső eredmény-

* Dr. Fehér Dánielnek a stockholmi Erdészeti Főiskolán 1932 április 16-án a Svéd Talajtani Társulat előtt és 1932 április 23-án a Finn Erdészettudományi Társulat előtt a finn Tudományos Akadémia nagytermében tartott előadása.

ben az erdőgazdasági termelés végeredményét — a fát szolgáltatják, tudatosan a kezünkbe vegyük és ezzel kapcsolatosan rentabilisan az erdő művelése terén oly beavatkozásokat, vagy befektetéseket létesítsünk, amelyek végeredményben az erdőgazdasági többtermelés kedvező kialakulásában nyilvánul meg.

A fentebb említett törekvések azonban már korán megmutatták, hogy addig, amíg az erdő talajában lefolyt változásokat, az ott végbemenő anyagcserének közelebbi körülményeit meg nem ismerjük, addig képtelenek leszünk arra, hogy teljes egészében megérthessük, sőt a továbbiakban öntudatosan szabályozhassuk az erdőgazdasági termeléssel kapcsolatos fiziológiai funkciókat. Ez a törekvés természetesen a mezőgazdasági tudományok terén, amelyeknek a fontossága a mezőgazdasági üzemek rentabilitása és a mezőgazdasági termelés égető szükségessége következtében már korábban megnyilvánult és azt eredményezte, hogy a mezőgazdasági talajtan időben és eredményekben bizonyos fokig az erdőgazdasági talajtan kifejlődését megelőzte. *Liebig* korszakalkotó fellépésével kapcsolatosan sokáig az a tévhit volt elterjedve, hogy a talajban lefolyó bomlási és átalakulási folyamatok kizárólag kémiai úton jönnek létre. *A modern talajbiológiai tudományoknak egyik első és legfontosabb érdeme volt az, amikor sikerült kimutatni, hogy ezek a talaj anyagcsere-körfolyamatánál oly fontos szerepet játszó bomlási folyamatok nem tisztán kémiai eredetűek, sőt majdnem kizárólag élő szervezetek biológiai tevékenységére vezethetők vissza.* Tehát a bomlási folyamatokat előidéző élő szervezetek biológiai tevékenysége a primär faktor és az ezzel kapcsolatos kémiai reakciók lefolyása képezi a jelenség másodlagos, vagy szekundär részét.

Így fejlődött azután ki az utolsó évtizedekben egy ma már széles alapokon nyugvó és nagy eredményeket elért tudományág: *a talajbiológia.* A talajbiológiai tudományoknak az erdőtalaj megismerésére való áttérjesztése, különösen a talaj belső szerkezetét, és a talaj szerkezetében lefolyó biológiai változásokat illetőleg, csak az utolsó pár évtized munkájának az eredménye, holott az erdőtalaj biológiai vizsgálata nemcsak különleges erdőgazdasági szempontból bír fontossággal, hanem ennek általános érvénye és általános jelentősége is van. *Amíg ugyanis a mezőgazdasági ta-*

lajok biológiai és kémiai körfolyamatát az emberi kéz mesterséges beavatkozása állandóan zavarja, addig az erdőtalaj a benne lefolyó összes változásokkal egyetemben, hosszú évtizedeken keresztül, zavartalanul marad és benne, tehát a talajban lefolyó biológiai folyamatok törvényszerűsége és összefüggése a maga eredeti mivoltában teljesen zavartalanul érvényesülhetnek.

Az erdőtalaj biológiai kutatása Németországban és főleg a Skandináv államokban vette a kezdetét. Mégpedig főleg az itt jelentkező humuszkérdés és a humuszkérdéssel szorosan összefüggő micorrhyza-problémával kapcsolatosan. Hasonlóképpen itt fejlődött ki az ottani nagy területeket fedő, egyhangú növényzet változásának és összetételének belső ismerete folytán a talajjellemző növények, illetőleg a talajtborító növények társulási formáinak figyelembevételével az *erdőtípusok* elmélete.

A magyar erdészettudomány azonban ezen a téren úttörő munkát végzett. *Mert itt, Magyarországon sikerült először és első alkalommal, — dacára az egyébként nyomasztó, súlyos viszonyoknak, — az erdő talajában lefolyó biológiai folyamatokat több éven keresztül összefüggően és a maguk teljességében megfigyelni és kikutatni. És ami a legfontosabb, legalább nagy vonásokban azokra a mélyebben járó összefüggésekre és törvényszerűségekre rájönni, amelyek végeredményben ezeket a folyamatokat döntően befolyásolják.* Azok a talajbiológiai problémák, amelyek ezen kutatások folyamán kidolgozásra kerültek és amelyeket itt röviden ismertetni fogok, a következők voltak:

1. *Az erdőtalaj szénaxtermelése, az erdőtalajban lefolyó mikrobiológiai folyamatok mennyiségi és minőségi lefolyásával kapcsolatosan;* 2. *Az erdőtalajban végbemenő nitrogénanyag-cserének fontosabb összefüggése és végül;* 3. *Az erdő talajában élő mikroorganizmusok közül a baktériumoknak és protózoáknak az őket körülvevő ökológiai tényezőkkel kapcsolatos mennyiségi és minőségi viselkedése.*

Itt mindjárt meg kell jegyezni, hogy ami ezeknek a kutatásoknak különös súlyt és jelentőséget kölcsönöz és ami — Mélyen tisztelt Uraim — ezeknek a fontosságát az Önök szemében még kifejezettebbé és nagyobbá teszi, az a körülmény, hogy a kísérleti területek nemcsak Magyarország területére szorítkoztak,



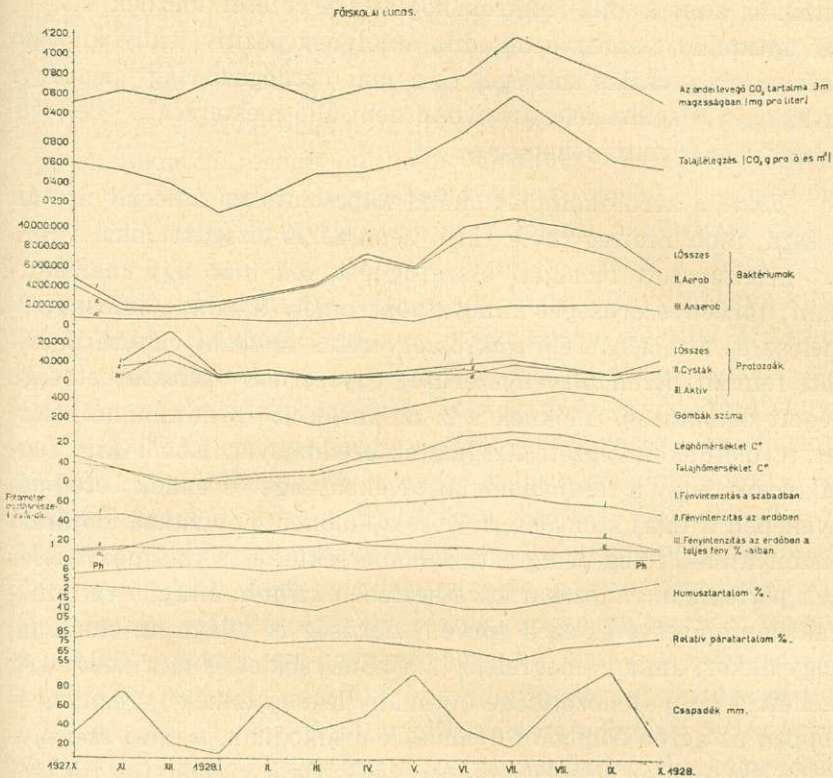
1. ábra. A Növénytani Intézet kísérleti területeinek eloszlása Európában.

hanem Magyarországon, Svédországon, Norvégián és Finnországon keresztül a magyar alföld pusztai talajaitól, tehát a 46. szélességi foktól fel, a 70. szélességi fokig lettek felvéve (l. 1. ábra).

Azoknak az eredményeknek a túlnyomó része, amelyeket tehát én most Önök előtt ismertetni fogok, tulajdonképpen több évre terjedő, a mai viszonyok között szinte példás nemzetközi együttműködésnek az eredménye. Ezt az alkalmat is megragadom arra, hogy azoknak a szaktársaimnak és kutatóknak, akik részben az ezen vidékeken megtett többszörös kutató-utamat személyesen támogatták, részben pedig a talajpróbák rendszeres beküldésével a vizsgálatok megejtését ab ovo lehetővé tették, ezúton is a leg-hálásabb köszönetemet fejezzem ki.

Most már az elért fontosabb eredményeket a problémák előbb feltüntetett sorrendjében fogom tárgyalás alá venni. Alig volt a modern erdőművelési tudománynak olyan fejezete, amely gyakorlati szempontból is többet ígérő lett volna, mint éppen az erdőtalaj szénsavtermelésének tanulmányozása. De ezért őszintén rá kell mindjárt arra is mutatnom, hogy viszont alig volt az erdőművelés tudományának oly ágazata, ahol a spekulatív, bár jóhiszemű, de minden exakt természettudományi alapot nélkülöző tervezgetések és kombinációk annyi kárt és csalódást okoztak volna, mint ennek a kérdésnek túlzott felcsigázása és olyan eredmények kolportálása, amelyek az utóbb bekövetkezett fontos és pontos kutatások megvilágításában semmi körülmények között nem állhatták meg a helyüket. Még a mezőgazdasági talajtan irodalomnak is hosszú évekre volt szüksége, amíg az úgynevezett szénsavtrágyázási elmélet tarthatatlanságát be tudta bizonyítani. Az erdőműveléstani tudományban azonban túlnyomórésztben a nálunk végzett kísérletek és kutatások mutatták meg azt, hogy ezen a téren a mai erdőgazdaság rentabilitásának a keretén belül alig tudunk oly intézkedéseket foganatosítani, amelyek legalább nagy és érezhető mértékben a fák növekedését és az erdőgazdasági termelést elő tudnák mozdítani. Mindjárt rá kell itt mutatnom arra, hogy a sokat hangoztatott örökerdő kérdése is sok vonatkozásban ezzel a problémával függött össze. Sőt a természetes felújításnak egyedül való propagálása is bizonyos mértékben ezen propaganda kezelésénél és tárgyalásánál jó támpontokra talált.

A mi kutatásunk mindenekelőtt két irányban mozgott. Az első kutatások, amelyeket nem magyar, hanem svédországi erdőtalajokon kezdtünk meg, mindenekelőtt beigazolták azt, hogy



2. ábra. A talaj CO₂ termelésének időszaki változása.

azokon az erdőtalajokon, amelyek már amúgyis jó állapotban vannak, nagyon nehéz lenne mesterségesen a mai még erősen extenzív erdőgazdaság jövedelmezőségi viszonyain belül olyan mesterséges beavatkozásokat eszközölni, amelyek itt gyökeres változásokat idéznének elő. Hogy természetesen a rossz állapotban levő erdőtalajok megjavítása, ezen talajok szén-savtermelését és így közvetve a rajtuk kifejlődött állományok növekedését és asszimilációs tevékenységét is előmozdítanak, az természetes. De legalább gyakorlati értelemben a kérdésnek ezzel a részével már minden modern erdőgazda tisztában volt. A jó erdőtalajok ugyanis, ahová például az úgynevezett mullállapotban levő erdőtalajok tartoznak, a talaj biológiai állapota szempontjából olyan kiváló minőségűek és ezekben a talajszén-sav-produkció és a talaj bomlási folyamatai között, amelyek végeredményben az előbbi

jelzik és amit a talaj mikrobiológiai szervezetei idéznek elő, — oly optimális viszony uralkodik, amelynek pozitív irányban való befolyásolása csakis költséges és a mai erdőgazdaság pénzügyi viszonyaival semmiféle arányban nem álló mesterséges beavatkozása révén volna lehetséges.

Ezzel a kérdéskomplexummal kapcsolatosan sikerült azután hosszú, több mint egy évig tartó rendszeres vizsgálatokkal végre azt a határozott biológiai összefüggést, ma már úgy mondhatnám: törvényszerűséget kimutatnom, amely a talaj szénsavtermelése és a talajban élő mikroorganizmusok időszaki változásai között fennáll. Ezen törvényszerűség egyszerűbb áttekinthetősége végett bemutatom Önöknek a 2. sz. ábrán az egyik állandó kísérleti területünkön végzett vizsgálatok eredményét. Ebből látni fogják Önök, hogy a talaj biológiai tevékenysége és ennek eredményeképpen a talaj szénvastermelése a különböző évszakok időjárás viszonyainak, főleg pedig a talajhőmérséklet és a talajnedvességnek periodikus változásai következtében szintén állandó változásnak van alávetve és ez a törvényszerűség is világosan mutatja, hogy akkor, amikor megfelelő talajhőmérséklet és talajnedvesség mellett a talaj szellőzöttsége optimális lesz és ennek eredményeképpen az aerob-bomlási folyamatok uralkodnak, a talaj szénsavtermelése szintén a legkedvezőbbé válik. De a vizsgálatok további folyamata azt is beigazolta, hogy a talajlélekzés folyamata alatt termelt szénsavmennyiségnek — különösen idősebb állományoknál — a magasabb koronaszintekbe való felhatolása a szénsav rendkívül lassú diffúziója, vagy előrehaladása következtében nagyon kedvezőtlen. S ugyancsak sok tőkét és pénzt igénylő befektetésekre volna szükség, hogy ezt a diffúziót úgy tudjuk emelni, hogy végeredményben az asszimiláló koronák felfokozott tevékenysége jelentékeny túlprodukciónak tudna a fatermelés terén előidézni.

Majdnem egyidőben ezekkel a vizsgálatokkal azonban ez a kérdés más irányban is megvilágítást nyert. Már majdnem több, mint egy évtizeddel ezelőtt sikerült *Mitscherlich* és iskolájának nagy vonásokban azokat a kvantitatív jellegű összefüggéseket felderíteni, amelyek a növények növekedése, illetőleg a növények életműködésének végeredménye gyanánt jelentkező termésered-

mény nagysága és az ezt befolyásoló külső termőhelyi tényezők között fennállanak. *Mitscherlich* képlete tudvalevőleg a következő formát kapta: $\log(A-y) = \log A - cx$. Ebben a képletben A jelenti azt az elérhető ideális terméseredményt, amely az adott tényezők fokozása mellett optimális körülmények között elérhető volna, y jelenti azt a termésmennyiséget, amely A eléréséhez még ezidőszerint hiányzik, viszont x jelenti a kérdéses hatótényezőt és c jelenti ezen kérdéses hatótényezőnek a hatásfokát. Természetesen tekintettel arra, hogy ez a szénsavprobléma a mezőgazdasági irodalom terén is nagy hullámokat vert fel, *Mitscherlich* és iskolája ebben a kérdésben is beható vizsgálatokat végzett, amíg azután *Spirgatisnak*, *Mitscherlich* egyik tanítványának sikerült kiderítenie, hogy a növények szénsavasszimilációja, azután a fényintenzitás és a levegő szénsavtartalma között a következő számbeli összefüggés áll fenn: $\log W^* = 2i - 0.3447$

Ha most a levegő normális szénsavtartalmát, amely körülbelül 0.03 százaléknak felel meg, alapul véve, a szükséges behelyettesítéseket és számításokat elvégezzük, abban az esetben arra a rendkívül érdekes eredményre jutunk, *hogy a legtöbb növény, közöttük természetesen a fák is, a fény teljes intenzitása mellett a levegő már meglévő és minimális szénsavtartalmát teljes hatásfokkal majdnem tökéletesen ki tudják használni, úgyhogy ennek a szénsavtartalomnak az emelése gyakorlati értelemben véve teljesen céltalan és hiábavaló befektetés vagy, hogy érthetőbben fejezzem ki magamat, erőlködés lenne.*

Természetesen az erdőgazdaságban másképp áll a helyzet. Hiszen itt, különösen jól zárult állományokban a koronák egy jelentékeny része felülről lefelé mérve, fokozatosan kevesebb fényt fog kapni, tehát a levegő magasabb szénsavtartalmának itt már, különösen a koronák alsóbb régióiban ugyancsak jelentős szerepe van. Sajnos, a számítások azonban azt mutatják, hogy még jól zárult állományok koronáinak alsó részében is, ahol a szabad déli fénynek alig egy-két tizedrésze tud már behatolni, ugyancsak jelentékeny CO_2 növelésre volna szükség, hogy gyakorlatilag hasznos eredményekhez tudjunk jutni. Ellenben a *fokozatos felújító vágásnál*, feltéve azt az esetet, hogy ez a gazdasági beavatkozás

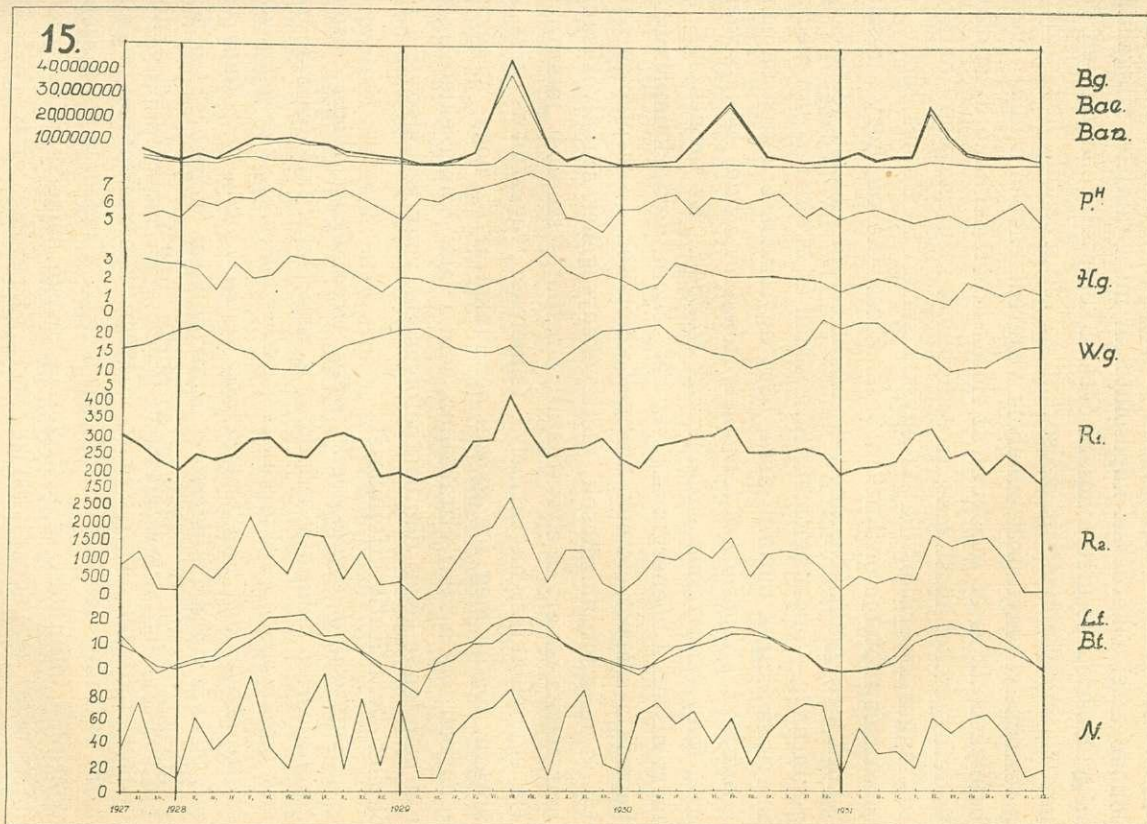
* $W = c$. (a német Wirkungswert rövidítése.)

erdőművelési és erdőgazdaságtechnikai szempontból indokolt és szükséges, különösen az alsóbb levegőszintekben növekvő fiatal nemzedék éppen a szénsavnak említett nagyon lassú diffúziója következtében és azon körülmény folytán, hogy a fiatal fák mindig többé-kevésbé árnyékban állnak és növekednek, már a levegő fokozott szénsavtartalmát és a talajlélekzés fokozottabb mérvét növekedésükben megérezhetik, sőt gazdaságosan ki is használhatják.

Ezek a megfontolások — mélyen tisztelt Uraim — már világosan mutatják azt a szoros összefüggést, amely végeredményben a talajban élő mikroszervezetek életműködése és az erdőgazdasági termelés: a *fatömegprodukción* között fennállanak. Rá kell azonban mutatnom ennek kapcsán arra a tényre is, hogy a fák szénsavgazdálkodása tehát egyáltalában nem követeli meg a természetes felújítás ab ovo való bevezetését, mert hiszen a mesterséges felújításnál, ahol a fiatal fák azonnal a fény teljes élvezetébe jutva, a levegő meglévő szénsavtartalmát az előbb említett törvényszerűség következtében kitűnő hatásfokkal értékesíteni tudják, a természetes felújítással szemben talán előnyösebb helyzetbe is jutnának, ha a tarvágást kísérő egyéb körülmények, így különösen nálunk a gyomnövényzet túlságos elhatalmasodása, azután a nemesebb fák százalékos arányának a helytelen kezelése miatt való visszaszorulása, de nem utolsósorban extrém esetekben a talaj állapotának kedvezőtlen elváltozásai is ennek az üzemmódnak az alkalmazását meggondolandóvá teszik. Később ezzel a problémával még néhány szóval foglalkozni fogok, most ezzel a kérdéssel kapcsolatban csak az eredmények pozitív és negatív voltára óhajtottam rámutatni és annak a szükségességére, hogy a két gazdasági mód közötti választásnál milyen óvatossággal és alaposággal kell eljárjunk és mennyi még a megoldatlan probléma, amely ennek a kérdésnek a tisztázásánál az erdészeti kísérletügyre vár.

Az eddigi kutatásainkban a legnagyobb jelentőséget a magunk részéről abban látjuk, hogy a talaj élettevékenysége és a fák élettani működése között ezen a téren különösen világosan sikerült kidomborítani a határozott és éles összefüggést és egyúttal sikerült a kérdés gyakorlati részére vonatkozólag is legalább

Jelmagyarázat a 3. sz. ábrához: Bg összes baktériumszám, Bae aerob bakt., Ban anaerob bakt., pH = talajsavanyúság, Hg = humusz-tartalom, Wg = a talaj víztartalma, GN = összes nitrogén, NN = nitrát-nitrogén, N = nitrifikáló, Dnf = denitrifikáló baktériumok, Nb = a levegő szabad N-jét megkötő bakt., Bt = talajhőmérséklet, N = csapadék.



3. ábra. A talaj baktériumtartalmának és az azt befolyásoló termőhelyi tényezők változásai 4 éven keresztül.

egyelőre, általános tájékozással és útmutatásokkal szolgálni. Különben ezzel a kérdéssel kapcsolatosan mi a talajélet vizsgálatát négy kísérleti területen hosszú éveken keresztül rendszeresen végeztük, amely művelettel elsősorban az volt a célunk, hogy azokat a termőhelyi tényezőket, amelyek végeredményben a talaj életét befolyásolják és ez utóbbi és az előzők között fennálló dinamikai összefüggéseket most már az eddigieknél még nagyobb határozottsággal kideríthessük. Az egyik kísérleti területnek több évi analizisét mutatja önöknek a 3. sz. ábra. Anélkül, hogy a részleteknek a tárgyalásába, amelyek inkább elvont elméleti jelentőséggel bírnak, — most belemennék, röviden és nyomatékosan medias in res rá akarok mutatni arra, hogy ugyanazon erdőtipuson belül a talajélet lefolyását két termőhelyi tényező: a talaj hőmérséklete és a talaj víztartalma szabályozzák döntően. Ez természetes is, mert hiszen a hőenergia és a víz két olyan faktorkomplexumát képezik a szerves életnek, amelyek különösen a mikrobiológia terén, a mikroorganizmusok élettevékenységének szabályozásánál már régóta ismert és elvitathatatlanul fontos szerepet játszanak. De egy pillantás, ha bármely felületesen végezzük is, erre az ábrára, rögtön meg fog győzni bennünket arról, hogy végeredményben sem a talaj víztartalma, sem a talaj hőmérséklete egyedül nem lenne képes döntően befolyásolni, vagy szabályozni a talajélet, kvantitatív kifejlődését.

Kutatásaink egyik-másik fontos eredményét abban látom, hogy sikerült kimutatni azt, hogy a talajélet kifejlődését és annak lefolyását egy faktorkomplexum befolyásolja, amelyet kvantitatív értelemben úgy fejezhetünk ki legjobban, ha a talaj hőmérsékletét annak mindenkori víztartalmával megszorozzuk. Ezt a tényezőt látják R_1 jelzéssel az ábrán, míg R_2 jelzéssel a mindenkori csapadékmennyiség és a levegő hőmérsékletének a szorzatát rajzoltuk fel. Természetesen a talaj vízgazdálkodása szempontjából, minthogy ez a tényező a levegő hőmérsékletével és a mindenkori csapadékmennyiségekkel korrelatív viszonyban áll, tulajdonképpen a talaj víztartalma az a faktor, amely ezen korrelatív viszony változását a legjobban a szemünk elé tárja és a talaj víztartalma az a tényező, amely természetesen a talajban élő mikroszervezetek életműködését a legközvetlenebbül befolyásolja.

Látjuk egyébként ezekből a kutatásokból azt is, hogy a talajban élő mikroorganizmusok tömegét a talaj víztartalma tulajdonképpen a nyári hónapokban befolyásolja döntően. Ezekben a hónapokban éri el ugyanis a talaj baktériumtartalma a nagy talajhőmérséklet következtében maximális kifejlődését. Ha most már elegendő csapadék áll ezen kritikus hónapokban az erdőtalajnak a rendelkezésére, abban az esetben természetesen ezen csapadék mérvének megfelelően erős baktérium-maximumra lehetünk elkészülve. De ha éppen ebben a kritikus időben hiányzik a talaj megfelelő víztartalma, amint ezt különben az ábrán az 1928. év esete oly világosan bizonyítja, úgy természetesen a talaj baktériumszáma is alacsony határok között fog mozogni. Különbözik a bemutatott kép azt is mutatja, hogy éppen ezen változó tényezők variálása következtében nemcsak egy éven belül, *hanem az évi átlagok között is állandó a fluktuáció, az évenként belülről jelentkező kis periódusokon kívül, még az évi átlagokat egybefogó nagy periódusok is keletkeznek, amelyek lefolyása szintén a fenti tényezőkomplexumokkal kapcsolatosan, határozott törvényszerűségek között megyen végbe.* Természetesen attól még messze vagyunk, hogy itt egy határozott matematikai összefüggést lehessen felállítani. Ezen a téren a legnagyobb óvatosságot vagyok kénytelen ajánlani, elsősorban azért, mert ez a bemutatott ábra is határozottan mutatja, hogy azok a tényezők, amelyeket a laboratóriumi vizsgálatoknál kifejlődésükben és hatásukban teljes precizitással sikerült elkülöníteni és megvizsgálni, kint, a szabad természetben egymást kölcsönösen befolyásolják, hatásfokukban nem egyenlők, hanem néha egymást kölcsönösen háttérbeszoríthatják, *úgyhogy végeredményben komplexhatásokkal állunk szemben, amelyeknek egy merev matematikai kapcsolatban való kifejezése, legalább matematikai értelemben vett exaktsággal, véleményem szerint még nem sikerült.*

Közvetlen ezzel a kérdéssel kapcsolatosan azután ugyancsak négy állandó kísérleti területen az erdőtalajnak egy másik olyan jelenségcsoportját vettük állandó és beható vizsgálat alá, amely a fák táplálkozásánál szintén fontos szerepet játszik és azonfelül elsősorban a talajban élő mikroorganizmusok munkásságával van összefüggésben. Ez a jelenségcsoport az erdőtalajnak *nitrogén-gazdálkodása.*

Azt már hosszú évtizedek óta tudjuk, hogy az erdő talajára lehullott szerves anyag korhadását előidéző mikroorganizmusok nemcsak a cellulózéból és ligninanyagból álló sejtfalakat és szerves anyagot bontják, hanem a fákbán, ezeknek leveleiben és ágai-ban felraktározott egyéb, főleg nitrogéntartalmú szerves anyagokat is korhasztó munkásságuknak vetik alá. Áll ez különösen a nitrogéntartalmú vegyületekre, amelyek részben építőköveikre ammoniakká és aminosavakká lesznek bontva a talajban, részben a talajban élő gombafonalak, a fákkal szimbiózisban élő mikorrhizák ezeknél magasabb fokú vegyületek alakjában, így polypeptidek, vagy albumózok formájában is hasznosíthatják őket.

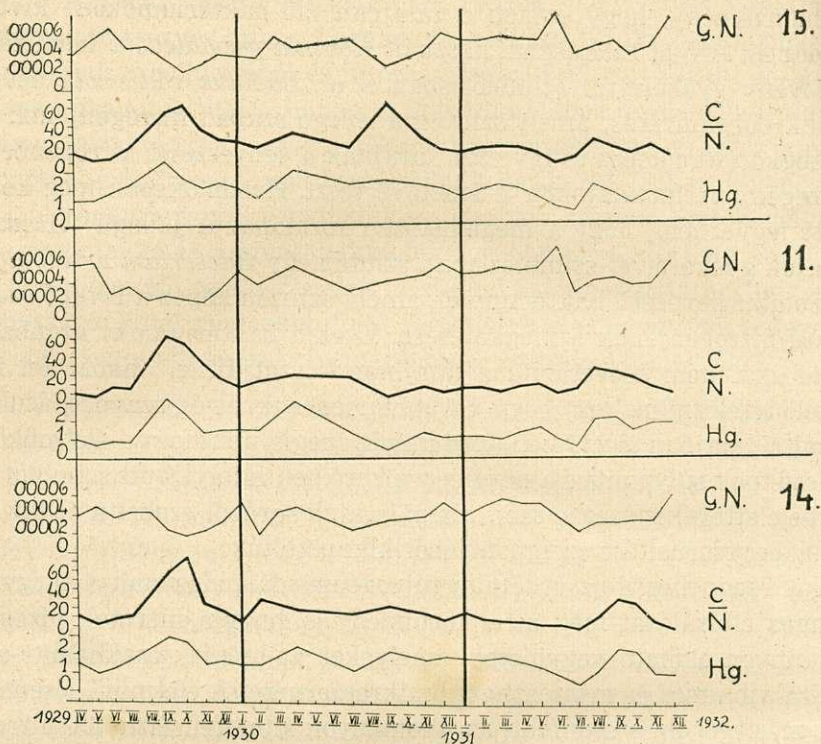
Bennünket a talaj baktériumflórája működésének elbírálásánál elsősorban a keletetkező ammoniák sorsa érdekel, amit a talajban élő nitroszervezetek, az úgynevezett *nitrifikáló baktériumok*, szerves működésük közben nitrátokká oxidálnak és amely így oly alakba jut, hogy a talajban élő fák gyökerei vízben oldott állapotban könnyűszerrel felvehetik. De a nitrifikációnak ezzel az ismert jelenségével szemben azt is tudjuk, hogy egy egész légijója a baktériumoknak, az úgynevezett *denitrifikáló baktériumok* dolgoznak azon, hogy a saját energiaszükségletük fedezése céljából ezen nitrátokat megint alapelemeikre bontsák szét, amiközben tudjuk, sajnos, a bontás végső termékeképpen sok esetben a növény számára többé-kevésbé veszendőbe ment szabad, gázalakú nitrogén is jelentkezik. A természet különös bölcs berendezése nyilvánul most meg abban a körülményben, hogy itt megint ugyancsak számos és egyébként az utolsó évtizedekben kitűnően kivizsgált baktériumoknak a csoportja fáradozik azon, hogy ezt a levegőbe jutó szabad nitrogént megkössék és testük korhadása folytán, mint romlandó nitrogénvegyületeket az előbb említett körfolyamat kapcsán ismét a nitrifikációnak adják át. Ezek a levegő nitrogénjét megkötő baktériumok, ahová az aerobkörülmények között élő *Azotobacter*-csoportot és az anaerobéletműködést folytató *Clostridium* genus fajait soroljuk. Láthatjuk tehát — mélyen tisztelt Uraim —, hogy az erdőtalaj nitrogéngazdálkodásánál három csoport kölcsönös korrelatív működésére kell súlyt és nyomatékot helyeznünk.

A magyar erdőgazdaság szempontjából különösen fontos az

a körülmény, hogy ezeken a talajban élő baktériumokon kívül még az Alföld fásításánál használt *Robinia pseudacacia* nevű fás növény gyökereivel szimbiózisban él a *Bacillus radicumicola* nevű mikroorganizmus, amely szintén a levegő szabad nitrogénjének a megkötésére képes és így ezen fafajnak a tenyészetét nitrogénben szegény termőtalajokon is lehetővé teszi. Hasonlóképpen meg kell itt jegyeznem, hogy a meglehetősen kozmopolita jellegű *Alnus*-fajok gyökereivel szimbiózisban szintén egy *Bacterium actinomyces alni* nevezetű baktérium él, amely szintén képes a levegő szabad nitrogénjének a megkötésére. Ezek a baktériumok azonban életüket nem közvetlenül a talajban folytatják le, habár fel is kell tételeznünk azt, hogy továbbterjedésüknél és szaporodásuknál a talajban is elő kell fordulniok, mégis minthogy életműködésüknek súlypontja a növény gyökereiben lefolytatott szimbiotikus élettevékenységre esik, vizsgálataink sorából ezeket a célkitűzés egyszerűsítése szempontjából kikapcsoltuk.

Megnehezíti az erdőtalaj nitrogéngazdálkodásának a tárgyi-lagos elbírálását még az a körülmény is, hogy a nitrátok vízben könnyen oldható vegyületek, amelyeket az esővíz csakhamar az altalajba mos és másrészt ezen mikroszervezetek életműködésének a mérlegét még ezenfelül az állományok által felhasznált nitrogénmennyiségek mérve és összege is befolyásolja, úgyhogy amint a kérdés végleges taglalásánál látni fogjuk, itt tulajdonképpen még az eddiginél is kifejezettebb dinamikai jelenséggel állunk szemben, amelynek az eldöntése és megvizsgálása még fokozottabb óvatosságot és precizitást igényel.

Itt mindjárt bemutatom önöknek az egyik megvizsgált kísérleti terület többéves analizisének grafikus eredményét. (l. 4. sz. ábra.) Az első pillanatra szembe fog önöknek tűnni, hogy úgy a talaj őszi nitrogéntartalma, mint pedig a talaj nitrátnitrogén tartalma állandó változásoknak van alávetve. Csak a kérdés több éven át való lellkiismeretes kutatása mutatta meg nekünk világosan, hogy tulajdonképpen ezek az első pillanatban rendszertelennek látszó változások bizonyos határozott törvényszerűségek között mozognak, amelyek részben a talajban élő mikroszervezetek munkásságával, részben pedig legalább közvetve az ezeket befolyásoló termőhelyi tényezőkkel és az előbb elmondott faktorokkal áll szerves, organikus összefüggésben. Az bizonyosnak látszik,



4. ábra. A talaj N-anyagcseréjének és az azt befolyásoló tényezőknek változásai az egyik állandó kísérleti területen 4 tenyésztési időszakon keresztül.

Jelmagyarázat a 4. sz. ábrához: GN = összes nitrogén, AN = amoniak nitrogén, NN = nitrátnitrogén, Bg = összes baktériumszám, Bae = aerob baktériumok, Ban = anaerob bakt., Nf = nitrifikáló bakt., Dnf = denitrifikáló baktériumok, Nb = a levegő szabad N-jét megkötő bakt., pH = talajsavanyúság, Hg = humusztartalom, Wg = a talaj víztartalma, Lf = levegő hőmérséklete, Bt = talajhőmérséklet.

hogy a talaj összes nitrogéntartalma a nyár végén éri el maximumát. Ami természetes is, hiszen a talajt borító állományok életműködése ezt a tápanyag-rezervoárt ekkor használja ki legjobban. Hogy az erre következő lombhullás a talaj összes nitrogéntartalmát megint gyarapítani fogja, az szinte magától értetődő, amint magától értetődő az is, hogy a talaj összes nitrogéntartalma maximális kifejlődését a késő tavaszi hónapokban fogja elérni, amikor a talaj biológiai tevékenysége ennek fokozását le-

hetővé teszi és az állományok által elhasznált mennyiségek még ennek a fogyását, — legalább érezhető mértékben — elő nem idézik.

Rendkívül érdekes különben a talaj nitrátnitrogéntartalmának a kifejlődése is, ami szintén állandó változásokat mutat. Mégpedig egyik minimumát ez is ősszel éri el, maximumai pedig részint télen vagy tavasszal jelentkeznek, csak ritkábban késnek el ezek a maximumok úgy, hogy a kora nyári hónapokban lehet közülük egyet-egyét megfigyelni. Ez a körülmény szintén a talajban élő nitrifikáló szervezetek működésével, továbbá a nitrátoknak az altalajba való bemosásával és az állományok által való felhasználással áll szoros kauzális összefüggésben. A tavaszi, illetőleg a koranyári maximum kétségkívül arra a körülményre vezethető vissza, hogy a nitrifikáló szervezetek intenzitása a tavaszi hónapokban jelentkező, aránylag magasabb víztartalom és az emelkedő hőmérséklet következtében megélnék. Valószínű, hogy a kedvező víztartalom az a körülmény, amely az őszi, vagy koratéli maximumok kifejlődését is előidézi. Különben ezek a kutatások arra az általános biológiai törvényszerűségekre mutattak rá, hogy a nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok tevékenysége, továbbá ezeknek kölcsönös számbeli viszonya között korrelatív összefüggések vannak, amelyek főleg abban nyilvánulnak meg, hogy a nitrifikáló baktériumok maximumaival rendszerint mindig a denitrifikáló baktériumok számbeli előfordulásának minimumai esnek össze.

Ezenfelül még az erdőtalajok ammonia képződését is megvizsgáltuk. Ezzel a problémával különösen az utóbbi, 1931. évben foglalkoztunk behatóbban és a bemutatott kép (4. ábra) adatai szintén igazolják, hogy az ammoniaképződés lefolyása az előbbiekhöz hasonlóan időszakos változásoknak van alávetve. Általában télen a legnagyobb és nyáron a legkisebb, de ezen általános lefutáson belül még kisebb-nagyobb ingadozásoknak van alávetve, amely ingadozások a nitrifikációval szemben bizonyos antagonizmust mutatnak. Valószínű a kettő kölcsönösen váltja egymást, vagy legalábbis a korrelatív befolyás lehetősége semmi tekintetben nem látszik kizártnak. Az azonban bizonyos, hogy az ammoniaképződés maximumai bizonyos mértékben a talaj összes nitrogéntartalmának maximumaival esnek össze.

Az a vázlat, — mélyen tisztelt Uraim, — amit Önöknek a mellékelt képen bemutattam, kitünően és meggyőzően mutatja a most vázolt törvényszerűséget. Rendkívül érdekessé válik ez a kép akkor is, ha most már a nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok maximumainak és minimumainak kölcsönös előfordulásával és változásával a talaj nitrátnitrogéntartalmának, illetőleg általában a talajnitrifikáció görbéjének változásait és lefutását összehasonlítva, megvizsgáljuk. Így kétségkívül az első pillanatra látni fogjuk, hogy rendszerint akkor, amikor egy-egy nitrifikációs baktériummaximum egy denitrifikációs minimummal esik össze, erre vagy rögtön, vagy pár hét múlva a talaj nitrátnitrogéntartalmának az emelkedése következik be. Világosan bizonyítja tehát ez a tény, azt a körülményt, hogy az erdőtalaj nitrátnitrogén-tartalmát a nitrifikációnak általános, a termőhelyi tényezők által befolyásolt lefutásán kívül még a nitrifikáló és denitrifikáló baktériumok számbeli viszonyainak kölcsönös változása is befolyásolja. Hasonlóképpen nagyon érdekes, ha a nitrogénkötő baktériumoknak a görbéjét összehasonlítjuk és megvizsgáljuk, mert itt is mindjárt látni fogjuk, hogy ezek a baktériumok általában a nyár végén, illetőleg az őszi elején érik el maximális kifejlődésüket.

Már korábban rámutattam arra, hogy a talaj savanyúságának a változása szintén a talaj mikroszervezeteinek a munkásságára vezethető vissza. Nyáron, amikor a magasabb hőmérséklet következtében az aerob-bomlási folyamatok uralkodnak és a földrehullott, szerves anyagok bomlási folyamatai gyorsabb tempóban mennek végbe, a talajnak télen meglehetősen mély, tehát erősen savanyú értékei a közömbös reakció felé közelednek, amit rendszerint az őszi folyamán érnek azután el. Télen ellenben a meglehetősen nagy víztartalom következtében fellépő anaerob-folyamatok hatására sokkal alacsonyabb értékek lépnek fel, amelyek ebben az időszakban még az északeurópai erdőtüpusok pH-értékeinek a mélyfokát is elérhetik. *A bemutatott kép (4. sz.) egyúttal most már azt is igazolja, hogy a nitrogénkötő baktériumok munkásságát a pH-értékek kölcsönös változása erősen befolyásolja és ezeknek a maximális kifejlődése rendszerint a pH-értékek maximumával esik össze, vagy ha a pH-értékek ezen időszakban alacsonyak lennének, ez a nitrogénkötő baktériumok*

maximumának kifejlődését igen érzékenyen és hátrányosan befolyásolja.

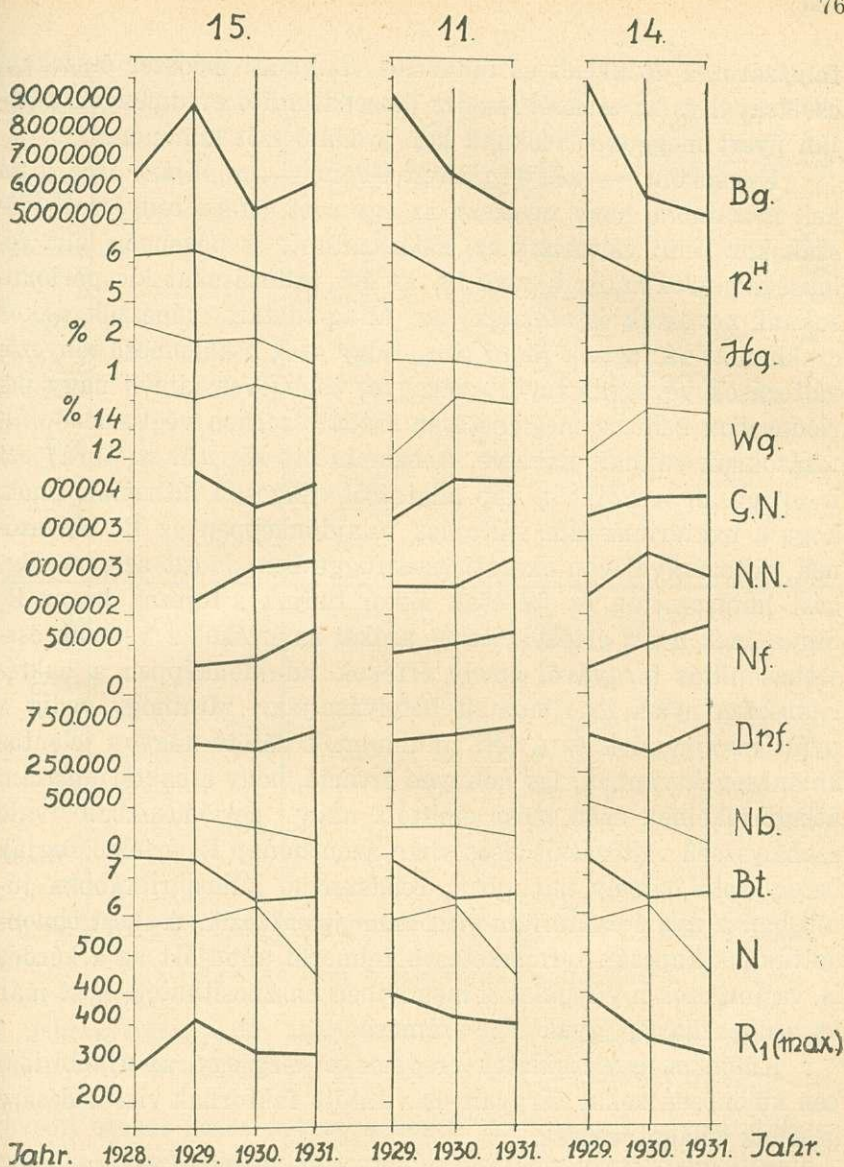
Rá kell egyúttal mutatnom arra is, hogy természetesen a talaj humusztartalma szintén nem állandó tényező. Ez szintén állandó változásoknak van alávetve, amelyek szintén meglehetősen szabályszerűen haladnak és főleg abban ismerhetők fel, hogy a tavasz, illetőleg a nyár folyamán a humusztartalom maximális kifejlődést mutat, ami a mikroszervezetek részéről történő felhasználás következtében ősszel minimumra száll alá, hogy azután, a lombhullás után megint emelkedő irányzatot mutassanak.

Ezek a vizsgálatok — mélyen tisztelt Uraim —, ha az eddig elmondottakat áttekinthetően összegezni óhajtjuk, eltekintve a részletkérdésektől, egy dolgot mutattak meg nekünk világosan és ez az, hogy a talajjelenségek eddig követett statisztikai vizsgálatával és megfigyelési módszereivel szakítanunk kell. Azok a tényezők, amelyeket eddig állandóknak hittünk, vagy legalábbis szabályszerű, nagyobbmértvű ingadozásaikra tekintettel nem voltunk, tulajdonképpen majdnem mindnyájan dinamikus eredetűek és folytonos változásnak vannak alávetve, még pedig az őket befolyásoló bio-tényezők összejátszásának az eredményeképpen szabályszerűen és határozott törvényszerűséget mutató módon változnak. Ezzel a jelenséggel a jövőben a talajvizsgálatoknál számolnunk kell, hozzá kell szoknunk ahhoz a gondolathoz, hogy a talaj az öt jellemző biokémiai és biofizikai sajátágaival semmi körülmények között sem nevezhető egy élettelen, alig változó, kémiai vegyületekből álló anyagnak. Ellenkezőleg, a benne működő, élő szervezetek folytonos életműködése következtében, úgy szólván állandó változásoknak, mégpedig dinamikus jellegű és szabályszerűen lefolyó változásoknak van alávetve. Hogy tehát a talaj megfelelő állapotát, termőképességét és viselkedését megítélhessük, az eddigi statisztikai módszerek helyett a dinamikai kutatás és megismerés eszközeivel kell a vizsgálatainkat lefolytatnunk.

Ha most már mindezek figyelembevételével, a talaj nitrogéngazdálkodásáról, főleg a növényzet számára annyira fontos nitrátnitrogén-gazdálkodásáról akarunk magunknak számot adni, abban az esetben be kell látnunk, hogy ezt a jelenséget a maga dinamikai mivoltában rendkívül sok melléktényező szabályozza.

Ezek közül a tényezők közül a növényzet részéről történő fogyasztás, továbbá az altalajba való lemosás, tulajdonképpen mint negatív faktorok szerepelnek, ezek tehát nem képesek arra, hogy önállóan a nitráttartalom görbéjének hullámzását előidézzék, legfeljebb arra valók, hogy egy maximum kifejlődését hátráltassák, vagy egy már meglevő minimum lefolyását elmélyítsék. Kétségkívül döntő szerepet játszik a talaj nitráttartalmának kifejlődése szempontjából a *nitrifikáló és denitrifikáló organizmusok kölcsönös, korrelatív kifejlődése*, azután a *talaj-hőmérséklet* és a *talaj víztartalma*. E két utóbbi tényező magyarázza meg nekünk a nitrát-tartalom téli és azután az átmeneti tavaszi, illetőleg kora nyári emelkedését. Általában a talaj nitrátnitrogén-tartalmának vizsgálatánál és összehasonlító tárgyalásánál sokkal nagyobb súlyt kell fektetni a tényezők ismeretére és kvantitatív meghatározására, mint magára a nitráttartalomra, amely ugyancsak erős és jelentékeny változásoknak van alávetve.

Különösen rá kell itt mutatnom még egy körülményre. Laboratóriumi vizsgálatok eredményeképpen nagyon el volt terjedve az a hit, hogy a talajnak erősen savanyú értékei közvetlenül befolyásolják a nitrifikációt. Kétségkívül ez a körülmény is erősen hozzájárul a nitrifikáció befolyásolásához, azonban a kérdés exakt kvantitatív vizsgálata csakhamar meg fog győzni bennünket arról, hogy a talaj nitrátnitrogén-tartalmának maximumai legtöbbször abban az időszakban fordulnak elő, amikor a talaj savanyúsági értékei aránylag ugyancsak mélypontra jutottak. Ez a jelenség is igazolja azt, amit korábban mondtam, az izolált tényezők laboratóriumi viselkedéséből levont következtetéseket csak a legnagyobb óvatossággal szabad a természet megfigyelésénél alkalmazni. *Mihelyt több, nagyon gyakran még nem is kellően ismert termőhelyi tényező összjátékával és komplex hatásával van dolgunk, a laboratóriumi vizsgálatoknál nyert látszólag tiszta és egyoldalú kép csakhamar megváltozik és kénytelen lesziünk arra a belátásra jutni, hogy az egyes tényezők hatásfokában egyes antagonisztikus és korrelatív jelenségek léphetnek fel, amelyek a pozitív befolyásoló tényezők hatását paralizálhatják, vagy a negatívokét tompíthatják.* Ahhoz tehát, hogy laboratóriumi vizsgálatok eredménye alapján ítéletet mondjunk valamilyen jelenségkomplexumnak a szabad természetben való le-



5. ábra. A megvizsgált tényezők évi változásai három kísérleti területen több tenyészeti időszak alatt.

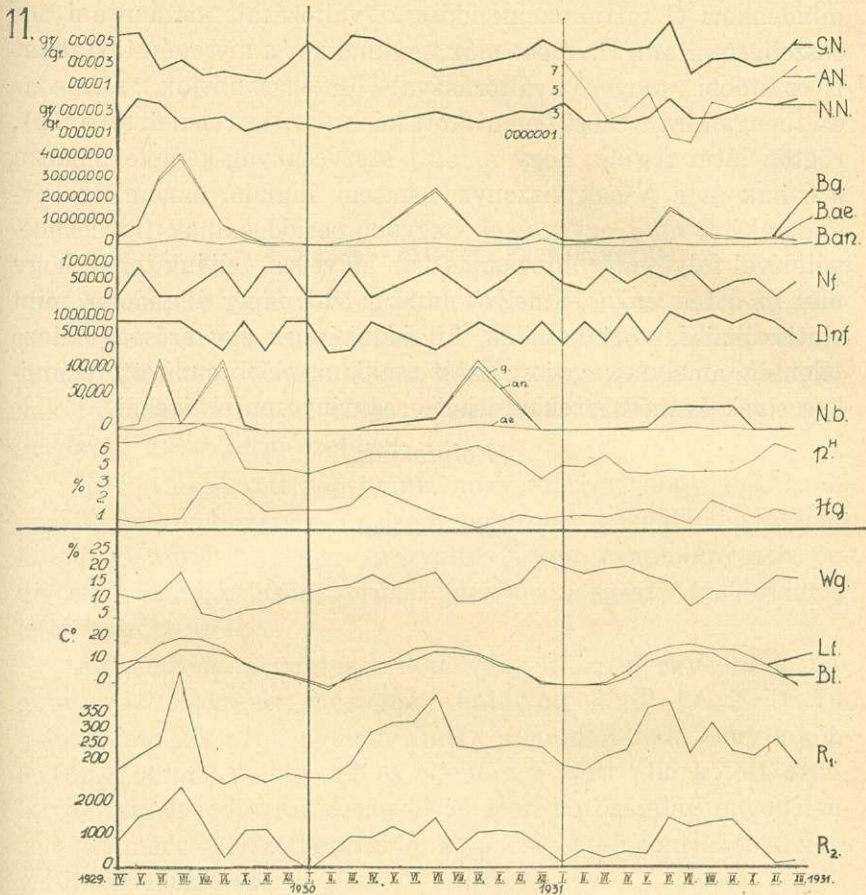
Jelmagyarázat az 5. sz. ábrához: Bg = összes baktériumszám, Bae = aerob bakt., Ban = anaerob bakt., GN = összes nitrogén, NN = nitrátnitrogén, AN = ammoniaknitr., Nf = nitrifikáló bakt., Dnf. = denitrifikáló bakt., Nb = a levegő szabad N-jét megkötő bakt., pH = talajsavanyúság, Hg = humusztartalom, Bt = talajhőmérséklet, Lt = levegőhőmérséklet, Wg = talaj víztartalma, N = csapadék.

folyásáról, a dedukciós és indukciós vizsgálati módszer összekapcsolásával és az ezekből leszűrt összehasonlító eredmények alapján nyert megfontolásoknak kell a döntő szót kimondani.

Egyébként — mélyen tisztelt Uraim —, mindjárt arra is rá kell mutatnom, hogy nemcsak az egy évet átfogó tenyészetes időszakokon belül változnak az előbb említett és bővebben leírt jelenségkomplexumok, hanem ha az évi változásokat kis periódusoknak nevezzük és ezeknek az átlag-adatait képezzük, akkor csakhamar rá fogunk jönni arra, hogy ezek a különböző tényező-változások végeredményben bizonyos több évet kitevő nagy periódusokon belül is meglehetősen szabályszerűen végbemenő változásoknak vannak alávetve. A bemutatott kép (5. sz. ábra) ezt is világosan igazolja, a kép adataiból világosan láthatják Önök, hogy a baktériumszám változása tulajdonképpen az R_1 tényezőnek változásával van okozati összefüggésben, de ezt az összefüggést határozottan és jól csak akkor tudjuk kifejezni, ha az R_1 tényezőnek nyári értékeit, tehát azokat az értékeket vesszük összehasonlítás tárgyává, amely értékek tulajdonképpen a baktériumszám nyári maximumait befolyásolják. Minthogy pedig a nyári maximumok és a téli minimumok között nagyon jelentős különbségek vannak, így könnyen érthető, hogy a baktériumszám átlagértékeinek ezen most említett nagy periódusokban való szabályszerű változásait elsősorban azon hónap R_1 értékei fogják befolyásolni, amely hónapban, rendszerint július, ritkábban júniusban a nyári baktérium-maximum jelentkezik. A most elmondottaknak kapcsán természetesen felmerül mindjárt az a kérdés is, vajjon ezek a vizsgálatok mennyiben hasznosíthatók most már az erdőgazdasági gyakorlat számára.

Különben a vizsgálatok eredményei még egy, az újabb időben különösen sokat tárgyalt és vitatott faktornak viselkedésére is élénk világot vetnek.

Az utolsó évtizedben rendkívül sok vizsgálat jelent meg, amely az erdőtalajban a carbonnak a nitrogénhez való viszonyával foglalkozik, amely viszonzyszámnak a nagyságát rendszerint 10—20:1-hez arányban szokták megadni. Ha ezeket a vizsgálatokat részletesen áttanulmányozzuk, és eredményeiket összehasonlítjuk, akkor csakhamar látni fogjuk, hogy az adatok zürzavarában rendkívül sok ellentmondás van és a legjobb akarattal sem



6. ábra. Az N és C viszonyának változásai.

Jelmagyarázat a 67. ábrához: GN = összes nitrogén, $\frac{C}{N}$ = a talaj Carbon és N tartalmának a viszonya, Hg = humusztartalom.

sikerült ezeket közös nevezőre hozni. Az általunk végzett teljes analízisek ezen a téren is legalább bizonyos mértékben áttekin-tést és tájékoztatást adtak. A 4. számú ábrának a vizsgálata meg-mutatja, hogy a talajhumusz és összes nitrogéntartalma folyto-nosan változik. Miután pedig a mi humuszvizsgálati módszereink tulajdonképpen a talaj C tartalmának a megőrzésére vannak fel-építve, így természetesen az eredmények és a vizsgálatok hu-musztartalom-eredményeiből nagyon könnyű most már a talaj

mindenkori *C* tartalmának időszaki változásait kiszámítani és összehasonlítani. Ha most már ugyanakkor a nitrogén-tartalmat is ez utóbbi tényező változásával összehasonlítjuk, abban az esetben, amint a most bemutatott kép mutatja (lásd 6. sz. ábra), rögtön látni fogjuk, hogy a talaj szervesanyag-komplexumában a *C*-nak és a *N*-nek viszonya sohasem állandó, hanem úgy évszakonként, mint egyes évek nagyobb periódusainak figyelembevételével folytonos változásnak van alávetve. Látjuk tehát, hogy még ez a tényező is, amelyet mind a mai napig állandóan, mint statisztikai faktort kezeltek, tulajdonképpen egy erősen változó jelenség, amelynek a vizsgálatát csakis az előbb említett dinamikus elvek és módszerekkel lehet eredményesen elvégezni.

(Folytatjuk.)
