

A HŐMÉRSÉKLET ÉS A VÍZ SZABÁLYOZÓ SZEREPE AZ ERDŐ ÉLETERÉBEN*

Dr. Fehér Dániel

551.586 : 634.948

Az erdő életterét befolyásoló termőhelyi tényezők között a víznek és a hőmérsékletnek jut a legfontosabb szerep. A növény életének kereteit a termőhely határain belül a levegőréteg kémiai és fizikai sajátságai: a fény, továbbá a levegő és a talaj hőmérséklete, a levegő páratartalma és a talaj víz-tartalma és végül a talaj vegyi és fizikai összetétele szabják meg. Ezek között a tényezők között a két leghatalmasabb biokozmikus tényezőnek, a víznek és hőmérsékletnek döntő befolyása van, s ezt az erdő életközösségének minden megnyilvánulásában érezteti.

A fák élő anyagának az élősúly szerint számított 40—60%-a víz. De ennek a szerepe nem szorítkozik tisztán a fenti számokkal kifejezett statikai térre, hanem a víz egyúttal az erdő fontos dinamikai tényezője is, mert hiszen a fák párolgásuk következtében állandóan vizet vesznek fel a talajból, amellyel együtt azután a legfontosabb szervetlen tápanyagok is bejutnak a vízpályákra. A víz ezeken keresztül áramlik a levelek felé, ahol átadja értékes tápanyagtartalmát az asszimilációs sejteknek, majd ismét elpárolog. A felfelé áramló víz tehát dinamikai értelemben is működik, és ezzel lehetővé teszi a tápanyag szállítását és ezen keresztül a fa szerves anyagának a felépítését.

De maga a víz tehetetlen anyag maradna, ha mozgásba nem hozná a természet leghatalmasabb őstényezője: és minden életnek energiaforrását jelentő hőenergia, amelyet egyedüli forrása — a Nap — a termőhely adottságai szerint bocsát földünk rendelkezésére. Amíg azonban a talaj kémiai és fizikai sajátságai viszonylag csak lassú, bár szintén észrevehető változásokat mutatnak, addig a hőmérséklet és a víz mennyiségi adottságai szinte állandóan és legtöbbször jelentékeny mértékben ingadoznak, még pedig olyan módon, hogy ingadozásukat rendszerint előre kiszámítani vagy befolyásolni eddigi tudásunk szerint nem igen tudjuk.

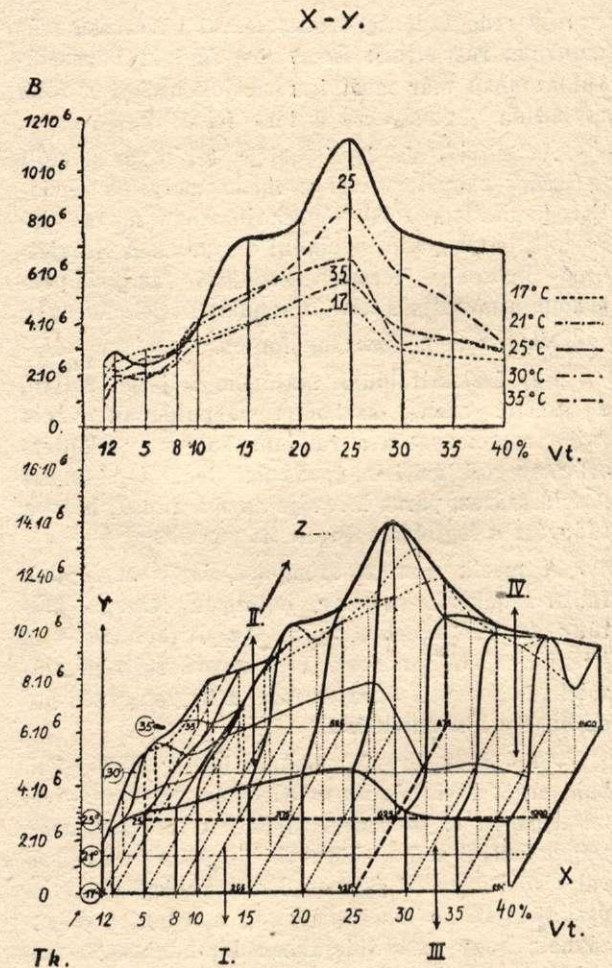
Alapvetően fontos probléma volt tehát az, hogy ennek a két természeti tényezőnek a viselkedését és a fák életére ható befolyását gondos vizsgálatokkal feltárjuk. A feladat eleinte ugyancsak bonyolultnak látszott, mert a hőmérséklet és a víz egymást kölcsönösen is befolyásolják, úgyhogy végeredményben a kettő összetett (komplex) hatása jut érvényre, amelyet hosszú éveken át tartó rendszeres megfigyelésekkel és vizsgálatokkal kellett részleteiben feltárunk.

A kutatások időbeli lefolyása szempontjából nagyon érdekes, hogy mielőtt a fák és növények hő- és vízgazdálkodásával foglalkoztunk volna, a vizsgálatokhoz az első ösztönzést a talaj életében lejátszó jelenségek kutatása adta.

A közel 2 évtized előtt megkezdett és mind szélesebb körben lefolytatott talajéletteni vizsgálataink eredményei mind bizonyosabbá tették azt, hogy a régebbi felfogás, amely a talajélet fizikai és kémiai sajátságait csak nehezen változtatható anyagnak tekintette, nem állja meg a helyét. Az

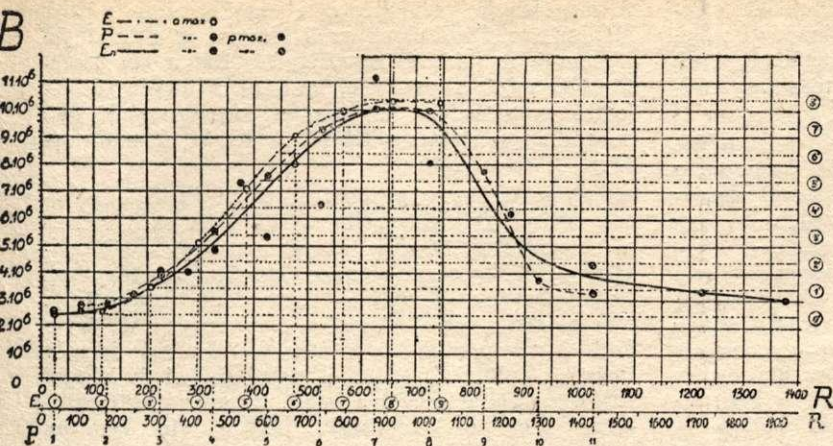
erdő- és mezőgazdasági talajokat a kisebb-nagyobb (mikrotikus és makrotikus) élőlények, de főleg ez előbbieket sokmilliószámú tömege népesíti be. (1 ha erdőtalajban — 30 cm mélységet alapul véve — átlag 10 q parányiszervezet működik.) Ezek élnek, mozognak, táplálkoznak, és működésük közben a talajt élő szervezetek formálják át, amely — amint a későbbi vizsgálatok mutatták — fizikai, kémiai és biológiai sajátságainak változtatásán keresztül létkető, eleven életet folytat.

Kezetben főleg abban nyilvánultak meg a nehézségek, hogy a legfontosabb tenyésztési időszakainkban (csak a végleteket említem, nyáron és télen) a mi klimatikus viszonyaink közt a víz és a hőmérsékleti tényezők ellentétesen viselkednek. A hőmérséklet szerepét elég korán sikerült világosan érzékelnünk és kimutatnunk.



1. ábra. Az R-törvény térbeli görbéje. Az x tengelyen a talajnedvességet százalékokban, a z tengelyen a talajhőmérsékletet C°-ban, az y tengelyen a talajbaktériumok számát tüntettük fel. Felül a görbének x—y síkban való vetületét ábrázoltuk.

* A szerzőnek 1949 febr. 28-án az Országos Erdészeti Egyesületben tartott előadása.



2. ábra. A baktériummennyiség görbéje. B = baktériummennyiség, E_n = empirikus görbe, P = parabola egyenlettel, E = exponenciális egyenlettel számított görbe, a max = maximum előtti, p max = maximum utáni értékek. Az R -értékek a felső sorban talajnedvesség \times talajhőmérséklet, az alsó sorban pedig talajnedvesség \times (talajhőmérséklet + 10). Az exponenciális görbe egyenletének állandói: $a_1 = 3.4$, $a_2 = 10$, $m = 3.2$, $0 = 2.4 \times 1,000,000 = 2,400,000$, y szorzandó 1,000,000-val.

A víz szerepének a felderítése már kissé bonyolultabb feladat volt. Ez a tényező rendszerint akkor van minimumban, amikor — pl. nyáron — a talaj életére a hőmérséklet a legkedvezőbb hatását gyakorolja, tehát hátráltató szerepet játszik. Viszont, mikor optimumában van (összel, télen, esetleg tavasszal), akkor a hőmérséklet nem éri el a kedvező értékeit.

Anélkül, hogy a vizsgálataink további menetét részletezném — ez túl is lépné ennek az előadásnak a kereteit — reá szeretnék mutatni arra, hogy a két tényező együttes hatását tulajdonképpen lényegileg csak akkor tudjuk felderíteni, ha a térbeli ábrázolás módszereit hívjuk segítségül. Egyébként az alapvető törvényszerűségeket a talaj életének fent vázolt összefüggéseire vonatkozólag a már korábban gyűjtött megfigyelések alapján az úgynevezett *R-törvény* fejezi ki, amelynek az irodalomba való bevezetésével együtt — amint a továbbiakban látni fogjuk — szabatos matematikai értelmezést is sikerült adnunk.

Az 1. és 2. ábrán bemutatom az idevonatkozó, közel 2 évig tartó laboratóriumi vizsgálataink alapján szerkesztett térbeli idomot és görbéket.

Ha az x -tengelyre a talaj %-ban kifejezett víztartalmát, a z -tengelyre a két változó tényező egyes R -értékeinek megfelelő mikroorganizmus-mennyiségeket hordjuk fel és ezeket az x - és z -tengelyek felett megfelelő görbékkel kötjük össze, akkor ezek összessége egy térbeli idomot ad, amely a kérdéses talaj élettani tevékenységét (bioaktivitását) fogja kifejezni. A kapott térbeli idom palástján fekszenek tehát az x - és z -tengelyekkel párhuzamosan futó vízmennyiségi és hőmérsékleti fokoknak és az egyes R -értékeknek megfelelő parányszervezet- (mikroorganizmus-) mennyiségek. Az R -értékek viszont a z - x síkban a változó víztartalom és hőmérséklet egyes fokainak megfelelő összrendező metszéspontjain fekszenek, tehát a hőmérséklet és víztartalom értékeiből képzett szorzatoknak felelnek meg.

A legkisebb R -értékeknek megfelelő fejlődési pontot az optimális kifejlődés pontjával egy térbeli, ú. n. „*optimumgörbe*” köti össze, amelynek vetülete viszont a leg-

kisebb hőmérséklet és víztartalom értékeinek a metszéspontjait, az optimumot (a jelen esetben $R = 625$), kapcsolja egybe.

Ezt a térbeli görbét — amint a 2. ábra mutatja — az x - y síkban is kivehetjük. Lefutását egy harmadfokú parabolával, vagy még jellemzőbben egy exponenciális görbével fejezhetjük ki, amelyet a

$$\frac{100}{y} = \frac{1}{2} \left[ma_1^{\frac{1}{R}} + \frac{m}{2} (a_2^x + a_2^{-x}) \right]$$

$$\text{illetve: } \frac{100}{B_{sz}} = \frac{1}{2} \left[ma_1^{\frac{1}{R}} + \frac{m}{2} (a_2^R + a_2^{-R}) \right]$$

egyenlettel jellemezhetünk, ha B_{sz} a mikroorganizmusok mennyiségét

fejezi ki (ma_1 és ma_2 az egyenlet állandói).

A vizsgálatok folyamán a következő matematikai értelemben is alátámasztott, tehát szabatos jelentőséggel bíró összefüggéseket, illetve törvényszerűségeket állapítottunk meg, amelyeket az irodalomba az úgynevezett „*R-törvény*” néven vezetünk be. Ennek lényegét a következőkben foglaljuk össze:

1. A talajban élő növényi mikroszervezetek életműködésének mennyiségbeli kifejlődését a talaj fizikai és kémiai adottságai által megszabott határokon belül, a víz és a hőmérséklet kölcsönhatása, illetőleg e tényezők számbeli értékének összeszorzásából képzett úgynevezett R -tényező változásai szabályozzák. E tényező értékei és a hozzájuk tartozó mikroorganizmus-mennyiségek közötti összefüggést egy térbeli, ú. n. optimumgörbe adja meg, amelynek exponenciális jellege van.

2. Az optimumgörbe menetét szabályozó R -értékek mindig meghatározott fiziológiai értékűségű és egybetartozó vízmennyiségi és hőmérsékleti fokok szorzatai adják meg. Ugyanazon számbeli értékű, de a z - x sík más helyén levő R -értékek tehát élettani szempontból nem azonosak. Ebből a megállapításból világosan következik, hogy s - m a vizet hőenergiával, sem ez utóbbit vízzel pótolni nem lehet.

3. A fentiekből, illetőleg a törvényszerűség alapját alkotó megfontolásokból és levezetésekéből következik, hogy amíg az R -értékeket adó élettani tényezők optimális határukat túl nem lépték, az R -tényező növelése — a már kifejtett exponenciális egyenlet és görbe értelmében — a mikroflóra fokozott növekedését és számbeli kifejlődését idézi elő. Ha azonban akár a víz, akár a hőmérséklet adottságai a legkedvezőbb kifejlődési határokat meghaladták, az R -értékek további növekedése a mikroorganizmusok fejlődésére gátlólag hat. Ezeknek az élőlényeknek kifejlődését és szaporodását tehát sem a víz, sem a hőmérséklet nem tudja egyszóvalúlagan serkenteni vagy gátolni, hanem mindig a kettő összetett értelemben vett együttes hatása fogja szabályozni.

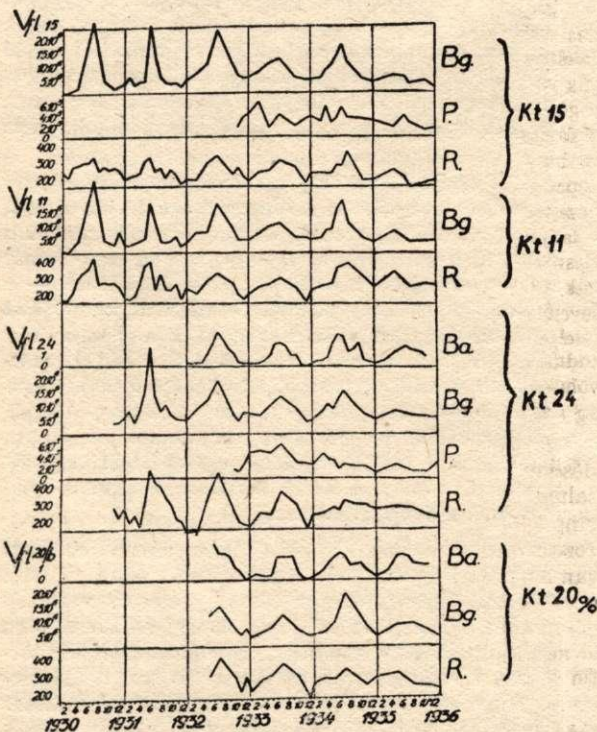
Említettem már, hogy a fent vázolt elméleti összefüggésekre elsősorban az erdőtalajokon végzett szabadföldi mikrobiológiai megfigyelések vezettek bennünket. Nem volt véletlen, hogy elsősorban az erdőtalajok életét vizsgáltuk. Ellenkezőleg! Kezdetül fogva tisztában voltunk azzal, hogy a talaj életének bonyolult összefüggéseit, illetve a talaj életét szabályozó törvényszerűségeket csak akkor tudjuk megismerni, ha olyan talajokat veszünk vizsgálat alá, amelyek életében a természeti tényezők hatásai évtizedeken keresztül zavartalanul érvényesülhetnek és így e tényezők hatása sokkal világosabban és határozottabban felismerhető, mint az olyan talajféle-

ségekben, amelyeket az emberi kéz állandóan meg-
bolygat és biológiai egyensúlyukat állandóan meg-
zavarja. A mezőgazdasági talajok vizsgálatát csak
később, az itt kapott eredmények birtokában kezd-
tük meg.

Az *R*-törvény elméleti levezetése és felismerése
után további igyekezetünk oda irányult, hogy ezek-
nek a szabatos összefüggéseknek a szerepét és je-
lentőségét szabadföldi vizsgálatok alapján is igaz-
zoljuk.

Ezen a téren természetesen hangsúlyoznom kell azt,
hogy — mint mindenütt másutt, — itt is akkor, amikor
a laboratóriumi kísérletek eredményeit a szabad termé-
szetbe, illetve a gyakorlatba átvisszük, mindig igen nagy
körültekintéssel és elővigyázattal kell eljárunk. Bent a
laboratóriumban ismerjük a befolyásoló tényezőket, eze-
ket el tudjuk határolni, és ingadozásukat minimálisra
csökkenthetjük. A természetben már nehezebb a dolog.
Itt akarva — nem akarva, egy sereg más biológiai tényező is
érvényesül, amelyek egymást is kölcsönösen befolyásol-
ják, és ezért komplex hatásuk sokszor annyira bonyolulttá
teszi a megfigyelések útján kapott eredmények összefü-
géseit, hogy ezek belső kapcsolatait csak behatóbb elem-
zések fedhetik fel előttünk. Ezért a szabad természet jelen-
ségeinek vizsgálata, de különösen a talajélet kutatása so-
rán, az esetleges hibákat ha nem is tudjuk elkerülni, de
úgy csökkenthetjük elviselhető mértékre, hogyha minél
több rendszeres időszakokban, ugyanazon módszerek-
kel végzett vizsgálati eljárással minél több megfigyelést
végzünk. Csakis ennek az elvnek a szem előtt tartásával
volt számunkra lehetséges a szabad természetben végzett
megfigyelési adatok feldolgozásakor jelentkező eltéréseket,
az *ú. n.* szórásokat minél szűkebb határok közé szorítani.

A következőkben néhány jellemző kísérleti te-
rületünk vizsgálatainak eredményeit mutatom be
rajzokban. A 3. ábra egy középkorú lúcfenyves (Kt.

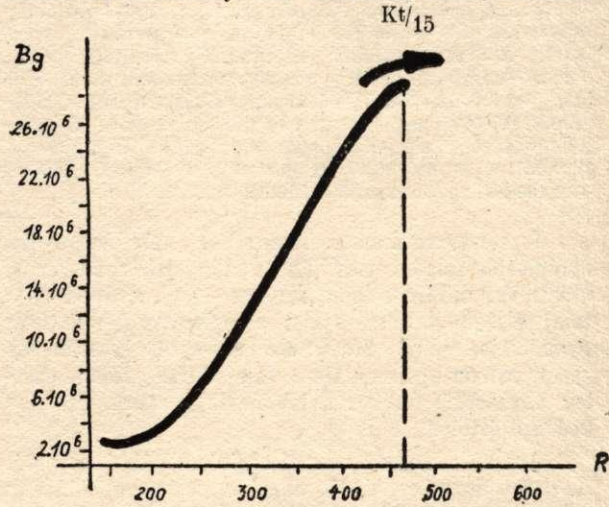


3. ábra.

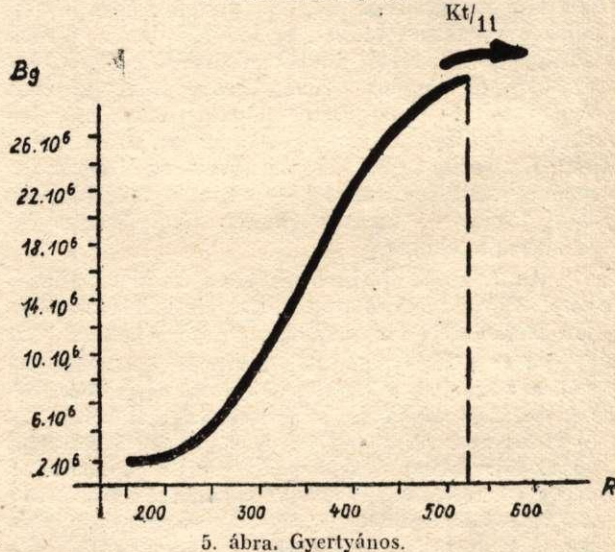
15.), egy középkorú gyertyános (Kt. 11.), egy par-
lag (Kt. 24.) és egy idősebb tölgyerdő talajának 6
éven át végzett vizsgálataink eredményeit mutatja.

A megvizsgált területeken a megfigyelési adatok
alapján megállapítottuk az *R*-tényező és a talajbak-
térium-szám közötti összefüggést. Ezt a két összefü-
ggést mint a parabola, mint az *R*-törvényre jel-
lemző exponenciális egyenlettel kiszámítottuk. Jel-
lemzésül bemutatom a Kt. 15. és Kt. 11. *ú. n.* *R*-gör-
bét (4. és 5. ábra).

Anélkül, hogy a többi kísérleti terület részle-
tes eredményeit felvázolnám, itt csak arra szeret-
nék rámutatni, hogy a több évi megfigyelések ada-
tainak feldolgozása alapján kapott összefüggések
az *R*-törvény érvényét ilyen módon szabadföldi
viszonylatban is kielégítően bebizonyították. Gyak-
orlati szempontból ez a megállapítás azt jelenti,
hogy az erdőtalaj életét a talaj fizikai és kémiai
sajátságai által meghatározott, lassan változó kere-
teken belül a hőmérséklet és a víz komplex
hatása az *R*-törvény már korábban vázolt értelmé-



4. ábra. Lúcfenyves.



5. ábra. Gyertyános.

ben döntően szabályozza. Nyilvánvaló tehát, hogy
ha módunkban áll a gyakorlati erdőgazdaság külön-
böző szabályaival ezt a két természeti tényezőt bizo-
nyos fókig befolyásolni, akkor természetesen a ta-
laj életét és a talajéleten keresztül az erdő fának
kedvező táplálkozását, növekedését, tehát végered-
ményében a fatermést is befolyásolni tudjuk.

Nem szabad ugyanis elfelejtenünk, hogy az
R-tényező további hatása nemcsak a most vázolt

különböző tényezők befolyásolásában nyilvánul meg, hanem közvetve a talaj lélekzését, illetve szénsavtermelését, ezen keresztül a levegő szénsavtartalmát és így a fák asszimilatorikus alkotó és építő munkáját is igen lényegesen befolyásolja.

Mivel erről a kérdéstről egy külön ismertetés keretében fogok szólni, most ennek a további taglalását egyelőre mellőzöm.

A vizsgálatok végső eredményeképpen egyébként megállapíthatjuk azt, hogy a talajélet optimális hőmérséklete $25-26^{\circ}$ körül, a talaj víztartalmának optimális mértéke pedig a talaj maximális vízbefogadó-képességének $70-80\%$ -os mértékénél áll be. Vagy más szóval: ahhoz, hogy a talajban élő mikroorganizmusok optimálisan fejlődhessenek, nem szabad a talaj levegőtérfogatót teljesen vízzel telíteni, hanem a talaj hézagterefogatának $20-30\%$ -nak levegőt is kell tartalmaznia, hogy a gyökerek és a talajban lévő parányszervezetek életműködése, illetve lélegzése is lehetővé váljék.

A következőkben az *R*-törvénynek a magasabbrendű növények életére kifejtett befolyásával fogok foglalkozni, hogy ezáltal megismerjük a hőmérsékletnek és a víznek az állományt alkotó fák életműködésére kifejtett befolyását is.

Ennek a kérdésnek a taglalásakor reá kell mutatnom arra, hogy a hőmérséklet mesterséges beavatkozásokkal való szabályozása akár az erdő-, akár a mezőgazdaságban nehezebben megvalósítható feladat, mint a talaj vízgazdálkodásának szabályozása. Még nehezebb feladat az, hogy mai technikai eszközeinkkel a fák életműködése szempontjából oly fontos levegő-hőmérsékletet tudjuk szabályozni. Ezért az *R*-törvénynek a fák életjelenségeiben megnyilvánuló szerepére vonatkozó vizsgálatokban — amint a következőkben majd látni fogjuk — főleg a talaj víztartalmát kellett vizsgálnunk, amely vég-eredményében nemcsak a talaj életét, hanem tudvalevőleg a föld felett élő, magasabbrendű növények, tehát a fák életműködését is lényegesen befolyásolja.

Helyszűke miatt mellőznöm kell itt azoknak a szintén szabatos laboratóriumi élettani vizsgálatoknak a leírását, amelyek a továbbiakban világosan és kézzelfoghatóan igazolták, hogy a magasabbrendű növények, és így fáink életében is a hőmérséklet és víz komplex hatásának, tehát az *R*-tényezőknek milyen döntő szerepe van.

Elért eredményeinket a következőkben körvonalazhatjuk.

A növényi élet majdnem minden megnyilvánulását — a többi élettani tényező megszába kereten belül — a hőmérséklet és a talaj víztartalmának szorzatából képzett, úgynevezett, komplex *R*-tényező szabályozza. A növényeknek a növekedése és asszimilatorikus anyagtermelése e törvény értelmében az *R*-értékektől függően exponenciális értelemben jelentkezik. Amíg ez a két tényező a maga optimális határát túl nem haladta, a szorzatukból képzett *R*-értékekre a fák és a növények életére általában serkentő hatást fejtenek ki. Mihelyt azonban akár az egyik, akár a másik, akár pedig mindkét tényező túllépi a maga optimális határát, az *R*-tényező hatása gátló értelemben fog megnyilvánulni. A két összetevő tényező közül a hőmérséklet emberi beavatkozások közbejöttével alig, vagy egyáltalában nem befolyásolható. Legfeljebb egyes talajművelési eljárások, továbbá az erdő életterében különböző módon véghezvitt erdőművelési rendszabályok, (gyérités, tisztítás, tarvágás) befolyásolhatják ilyen

értelemben az állományok levegőjének, illetőleg az erdő talajának a hőmérsékletét. Általában a hőmérsékletnek az optimuma — ha a növények asszimilatorikus anyagtermelését vesszük szemügyre — kb. $26-28^{\circ}$ C° körül van. Jellemző a Természet bölcs berendezésére az a körülmény, hogy — amint láttuk — a talajélet legkedvezőbb mértékének a határa szintén a kb. $26-28^{\circ}$ körül van. Ha most figyelmünket az erdő, illetőleg a fák vízgazdálkodásának, illetőleg vízigényének a vizsgálatára fordítjuk, akkor a kutatás során a probléma dinamikai részét el kell választanunk ennek sztatikai elemeitől. A fák, illetőleg a növények dinamikai vízgazdálkodása elsősorban abban jut kifejezésre, hogy a zsenge növényi részek bizonyos mennyiségű vizet állandóan elpárologtatnak és ezt a gyökerek vízfelvétele útján pótolják. A víz tehát — amint említettem — a növények vízpályáin állandóan mozgásban van és ennek a mozgásnak lüktető, eleven életrejét a fent említett zsenge növényi szervek állandó párolgása tartja fenn. Ha most e kérdés beható vizsgálatát meg akarjuk kísérelni, akkor természetesen itt a párolgató növényi részek által naponként, vagy óránként, szóval bizonyos határozott időegységben elvesztett víz mennyiségét kell kutatnunk. Höhnél és Ebermayer foglalkoztak ezzel a kérdéssel behatóbban. A vizsgálatok azonban azt mutatják, hogy a probléma e részének a kutatása nagyon körülményes, mert a növények, de főleg a fák által elpárologtatott víz mennyiségének a szabatos meghatározása igen nagy nehézségekbe ütközik.

Ha viszont ezzel ellentétben a növények, illetőleg a fák sztatikai vízigényét vizsgáljuk, akkor természetesen kutatásainkkal elsősorban a talajnak azt a víztartalmát kell megállapítanunk, amely a növény, illetőleg a fák legoptimálisabb fejlődését biztosítja.

Tudjuk, hogy a gyökereknek egészséges és gazdaságos működésükhöz — minthogy erősen dolgoznak és lélekeznek, — megfelelő mennyiségű levegőre is szükségük van. A talaj hézagterefogata rendszerint elegendő levegővel rendelkezik ahhoz, hogy a növényeknek, illetőleg a fáknek ezt az igényét kielégíthesse. Tudjuk azonban azt is, hogy akkor, amikor a talaj vízzel telítődik, tulajdonképpen a benne lévő levegőüregek összessége, tehát a talaj hézagterefogata fogadja magába a vizet. Azt a sajátságát a talajnak, hogy üregeiben egy bizonyos mennyiségű vizet vissza tud tartani, a talaj vízbefogadó-képességének nevezük. Amikor tehát a talaj vízzel teljesen telítve van, nincs levegőtartalma és ezért a legtöbb növény gyökerei benne lélekezni és életműködésüket kielégítően kifejezni nem tudnák. Ezért növényeink életműködése szempontjából sohasem előnyös a talaj vízbefogadó-képességének, illetőleg a talaj hézagterefogatának vízzel való teljes telítettsége.

A növények, illetőleg a fák optimális növekedéséhez, tehát a talaj levegőtartalmanak és víztartalmának mindig egy, növény, illetőleg fajfajok szerint változó, de ugyanazon fajnál rendszerint határozott keretek között mozgó optimális viszonyára van szükség.

(Folytatjuk.)

Le rôle régulateur de la température et de l'eau dans la vie des forêts (à suivre). La resumé sera donnée à la fin de l'article.

The Regulating Role of Temperature and Water in the Life of the Wood. — Summary will be published with the last instalment.

Die regulierende Rolle der Temperatur und des Wassers im Lebensraum des Waldes. — Auszug erfolgt mit dem Schlußteil der Abhandlung.