

Vizsgálatok a pangaminsav (B_{15} -vitamin) kimutatására, illetőleg meghatározására.

TELEGDY KOVÁTS LÁSZLÓ, BERNDORFERNÉ,

KRASZNER ÉVA és DÉVAI ANNA

Budapesti Műszaki Egyetem Élelmiszerkémiai Tanszék

Érkezett: 1968. június 8.

Az utolsó évtizedek rendszeres biokémiai kutatásai nyilvánvalóvá tették, hogy a B-vitamin komplex összes tagjai még korántsem ismertek. Az élő szervezetben lejátszódó bonyolult folyamatok eddig ismeretlen katalizátorainak legalább egy része is ide kell, hogy tartozzék. Ennek az elméleti elgondolásnak gyakorlati bizonyítéka az a vegyület, amelyet *Tomiyama* 1950-ben (1) bika májából, *Krebs* és munkatársai pedig (2) sárgabarack mag vizes kivonatából különítették el. Később egyéb természetes anyagokból is kinyerték.

Csakhamar megállapították, hogy az új hatóanyag: a pangaminsav, igen kis mennyiségben hatásos, valódi biokatalizátor, mely a természetben mindenütt előfordul, ahol a B-vitamincsoport tagjai jelen vannak. Ezért a pangaminsav elnevezés mellett a B_{15} -vitamin jelzést is megkapta – mint a B-vitamincsoport – soronkövetkező tagja.

Tekintettel arra, hogy állatkísérletek, majd klinikai tanulmányok a vegyület biológiai szerepét és gyógyászati jelentőségét korán kimutatták, a pangaminsav szintézise szükségszerűen nélkülözhetetlen lett.

Krebs Sr. és *Krebs Jr.* (3) 1955-ben szabadalmat jelentettek be a pangaminsav szintézisére, leírták a vegyületet, származékait és előállításuk módját.

Bukin és *Garkina* (4) pedig 1964-ben a *Krebs* által kidolgozott módszertől eltérő új utat dolgoztak ki a pangaminsav szintézisére, amelynek hatásosságát biológiai és klinikai kísérleteken igazoltak (4,5).

Mai ismereteink alapján a pangaminsav (B_{15} -vitamin, pangametin) szerkezete a következő: D-glükono-dimetil-aminoacetát (1. ábra).

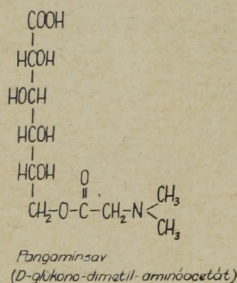
A pangaminsav molekulában levő metilcsoportoknak igen fontos biológiai hatásai vannak. Az élő szervezetben a metilezési és transzmetilezési reakciókban vesznek részt. Tehát a kolinhoz és metioninhoz hasonlóan az anyagcserében játszanak szerepet. A metilcsoportok számának növelésére *Krebs* (3) olyan pangaminsav származékokat is előállított, amelyek 4, 8, sőt 12-metilcsoportot tartalmaznak. A természetben ezek nem fordulnak elő. Jellegzetes képviselőjük – ha a pangaminsav molekulában a dimetil-amino csoportot di-izopropil-amino csoportra cseréljük ki – ez a tetrametil származék (2. ábra).

A pangaminsav molekulásúlya 281. Bruttó képlete: $C_{10}H_{19}O_8N$. Fehér, kristályos vegyület, jól oldódik vízben, nem oldódik éterben, acetonban és más zsirolószerekben. Nátrium és kalcium sója ismeretes, felhasználása a gyógyászatban ezek formájában történik. Nátrium sója fehér por, nem oldódik éterben, kloroformban, benzolban, acetonban. Hígroszkópos olvadáspontja $196^\circ C$. A kalcium-pangamát fehér, amorf por, könnyen oldódik vízben, nem oldódik szerves oldószerekben. Savas közegben ellenálló, lúgos közegben nem. A pornak gyenge,

aminra emlékeztető szaga van, enyhén keserű ízű. 100 C°-ig hevítve nem szenved változást.

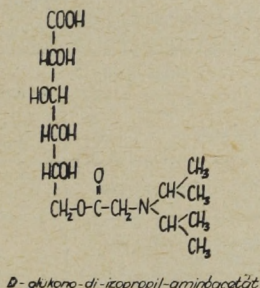
A pangaminsav klinikai alkalmazása labilis metilsoportjain alapszik, s igen széleskörű kedvező hatásáról nagyszámú adat áll rendelkezésünkre. Kutatók egész sora tanulmányozta a pangaminsav fiziológiai szerepét a szervezetben, ami lipotróp hatásban, a szövetek sejtjeiben az oxigéncsere aktiválásában és detoxikáló hatásban mutatkozik meg (6, 7, 8, 9, 10).

Az utóbbi évek mindezen kutatásai rámutattak a pangaminsav jelentőségére, széleskörű alkalmazhatóságára. Az elért pozitív eredmények bizonyítják a vegyület fontos szerepét az élő szervezetben és gyógyászatban. Annak ellenére, hogy előfordulása széleskörű, természetes anyagokból való kinyerését, szintézisét megvalósították és a vegyületet klinikailag alkalmazzák, mégsem ismeretes olyan módszer, amely a pangaminsav kimutatására és mennyiségi meghatározására vonatkozna.



1. ábra

Pangaminsav (D-glükono-dimetil-aminoacetát)



2. ábra

D-glükono-di-izopropil-aminoacetát

E hiányosságot pótlandó a pangaminsav (B₁₅-vitamin) meghatározására gyors és egyszerű módszert kívántunk kidolgozni. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a pangaminsav természetes anyagokban fordul elő – tehát a kísérő vegyületektől történő elválasztása is megoldásra váró probléma – a rétegekromatográfia különösen alkalmas módszernek látszott. Kontroll készítményként a Szovjet Tudományos Akadémia Vitamin Kutató Intézete (Moszkva) által az Élelmiszerkémia Tanszék számára rendelkezésre bocsátott szintetikus készítményt – kalcium pangamátot – használtuk. Új módszerünket pedig a szovjet gyártási ellenőrzésnél alkalmazott nitrogén meghatározással és a pangaminsav ultraibolya abszorpciós színe alapján ellenőriztük.

Eljárásunk a következő volt: a kalcium-sóból sósavval felszabadítottuk a pangaminsavat és annak 1 mg/ml koncentrációjú vizes oldatával végeztük a kimutatásra irányuló kísérleteinket. A rétegekromatográfiai vizsgálatok pontos végrehajtásához számos tényező állandóságát kell biztosítanunk. Elsősorban a megfelelő adszorbens, a futtató elegy és az előhívó reagens kiválasztása fontos.

Adszorbensük közül: Alumíniumoxid G (Merck) és Kieselgel G (Merck) 1 : 1 arányú keverékét, Kieselgel G (Merck) és Kieselgur G (Merck) réteget aktív és inaktív formában próbáltunk ki. Az aktív és inaktív megjelölés a felkent réteg szárítási módjára vonatkozik, az aktív réteg 30 perces 100 C°-on történő, az inaktív pedig szobahőmérsékleten több órás szárítással készült.

Az oldószer elegyek közül az alábbiakat tanulmányoztuk:

n-butanol : jégecet : víz	(60 : 30 : 10)
n-butanol : aceton : víz	(40 : 50 : 10)
benzol : jégecet : metanol	(20 : 20 : 60)
piridin : etilacetát : víz	(20 : 70 : 10)
piridin : etilacetát : jégecet : víz	(50 : 50 : 10 : 30)
n-propanol : etilacetát : víz : 25%-os NH ₃	(50 : 10 : 30 : 10)

Standard oldatokkal végzett kísérleteink során az említett adszorbensek és oldószerek közül a 100 C°-on aktivált Kiesegel G (Merck) rétegen n-propanol : etilacetát : víz : 25%-os NH₃ (50 : 10 : 30 : 10) oldószer eleggyel értük el a legjobb eredményeket, jól definiált határozott körvonalú, szabályos alakú foltokat és jól reprodukálható R_F-értékeket kaptunk (1. táblázat).

7. táblázat

Pangaminsav R_F × 100 értékei
(különböző adszorbenseken, különböző oldószerekkel)

Futtatószer \ Adsorbens	Alusil (Aluminiumoxid G – Kiesegel G (1:1))		Kiesegel G	
	Inaktív	Aktív	Inaktív	Aktív
n-butanol : jégecet : víz 60 : 30 : 10	57	49	48	40
n-butanol : aceton : víz 40 : 50 : 10	39	43	64	56
benzol : jégecet : metanol 20 : 20 : 60	54	59	75	68
piridin : etilacetát : víz 20 : 70 : 10	28	39	53	66
piridin : etilacetát : jégecet : víz 50 : 50 : 10 : 30	82	—	80	86
n-propanol : etilacetát : : víz : NH ₃ (25%) 50 : 10 : 30 : 10	56	45	54	43

A pangaminsav szintelen vegyület, ezért az adszorbens rétegen láthatóvá tételéhez megfelelő előhívó reagens volt szükséges. Számos reagenssel próbálkoztunk.

Abdel-Ahker és *Smith* (11) szellemes módszert dolgoztak ki az aldonsavak laktonjainak és észtereinek papírkromatográfiás kimutatására hidroxámsavszármazékok alakjában. A kromatogramot először frissen készült alkalikus hidroxilamin oldattal, majd szárítás után kevés vas(III)-kloridot tartalmazó 1%-os vizes oldattal permetezik be. A módszer aldón- és uronsavészterek, laktonok, amidok és metilamid származékok kimutatására alkalmas.

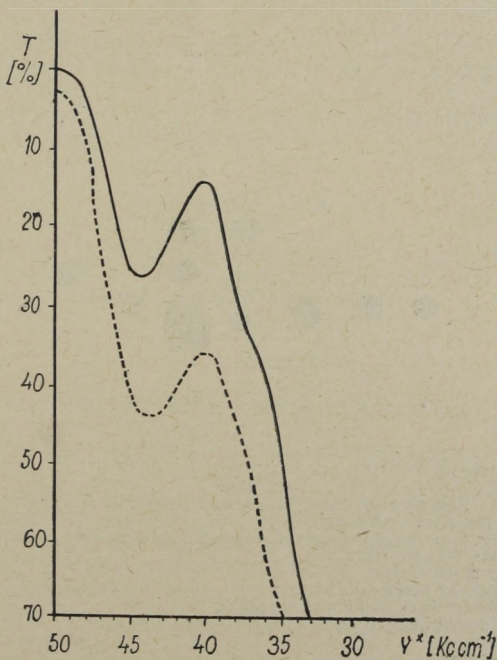
Hais és *Maček* (12) monogliceridek és nem redukáló szénhidrátok előhívására aljánlja vízmentes benzolban oldott 1%-os ólomtetraacetát oldatot. A kromatogramon barna háttérben fehér foltként jelennek meg a reagált vegyületek.

Kipróbáltuk még a brómfenolkék-bórsav előhívószert is. Cukoralkoholok kék háttérben sárga foltként jelennek meg használatkor.

A fenti reagensek nem adtak színreakciót a pangaminsavval. Számos próbálkozás után megállapítottuk, hogy színreakciót lúgos káliumpermanganáttal érhetünk el. 1%-os káliumpermanganát és 10%-os nátriumhidroxid vizes oldatával bepermetezve a lemezt, a pangaminsav lilásszínű háttérben sárga foltként jelent meg. (Reakciómechanizmust vizsgáljuk.)

A módszer kivitelezése

Kieselgel G (Merck) rétegen, amelyet használat előtt 30 percig 100 C°-on aktíváltunk, n-propanol : etilacetát : víz : 25%-os NH₃ (50 : 10 : 30 : 10) oldószer elegyével végeztük a pangaminsav futtatását. A pangaminsav 1 mg/1 ml koncentrációjú vizes oldatából 10 μl-t vittünk fel a rétegre. A vizsgálati anyagot a lemez szélétől 2 cm-re cseppentettük fel. A startpontok egymástól való távolsága 2 mm volt. Az üveglapok két oldalán 1–1 cm szélességben az adszorbenst eltávolítottuk, hogy a foltok laterális vándorlását minimálisra csökkentjük. Mikor az oldószerfront a startponttól számított 14 cm-t elérte, a lapokat kivéve a kádból 10 percig 60 C°-on szárítószekrényben tartottuk. Szobahőmérsékletre lehűlése után az előhívó reagenssel permeteztük be.



3. ábra

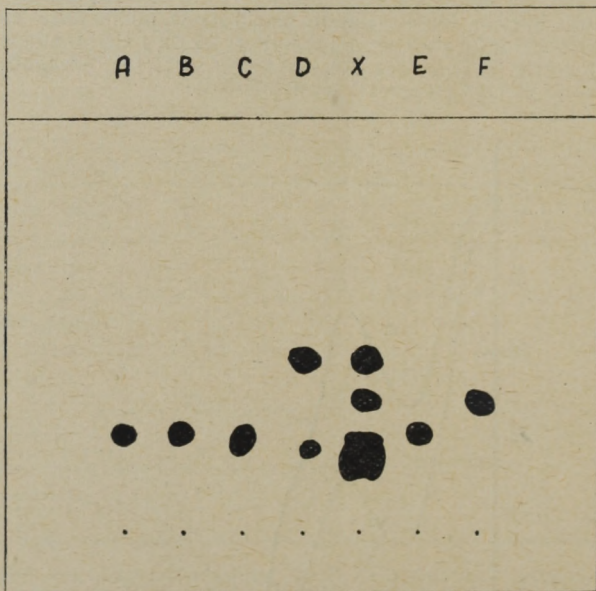
Pangaminsav ultraibolya abszorpciós színe:

- = kromatográfálás után eluált pangamin
- = 1 mg/ml koncentrációjú pangaminsav oldat

A pangaminsav kimutatásának ellenőrzése

A rendelkezésünkre álló gyógyszerkészítmény nemcsak pangaminsavat tartalmazott, ezért megnéztük, hogy az általunk megfigyelt folt valóban pangaminsavat tartalmaz-e. Ennek eldöntésére egyrészt nitrogén meghatározást végeztünk. 2 mg pangaminsavat felvive a lemezre futtattuk, a lemez kis részén történő előhívás után a megfelelő távolságban az adszorbenst kikapartuk és az így kapott mintából végeztük el a nitrogénmeghatározást (13). A meghatározás pozitív eredményt adott, a pangaminsav nitrogénjét sikerült kimutatni. 3. ábra

A vegyület azonosításának másik módjául ultraibolya abszorpciós szinképének vizsgálatát választottuk. Unicam SP 700-as spektrofotométerrel a pangaminsavat tartalmazó vizes oldat és a kromatogramról eluált folt vizes oldatának abszorpciós szinképét vizsgáltuk. Összehasonlító oldat desztillált víz volt. A vizsgálatok során a két minta azonos hullámszámnál mutatott maximális fényelnyelést. Az áteresztőképesség a koncentráció különbségek miatt tér el.



4. ábra

Pangaminsav és egyéb savak rétegekromatogramja

Réteg: Kieszelgel G (Merck)

Oldószer: n-propanol : etilacetát : víz : 25 %-os NH_3 (50 : 10 : 30 : 10)

Aktiválás: 30 perc 100 C°-on

Fejlesztési idő: 2 óra

Oldószerfront távolsága: 14 cm

Előhívószerszer: lúgos káliumpermanganát

Felvitt mennyiség: 10 μg

1. almasav

2. galaktonsav

3. glükonsav

4. pangaminsav

5. almasav, galaktonsav, glükonsav, pangaminsav, galakturonsav, glükuronsav

6. galakturonsav

7. glükuronsav

Végül annak megállapítására, hogy a pangaminsav hasonló típusú, természetes anyagokban előforduló savaktól ezzel a módszerrel elválasztható-e; pangaminsavat almasav, galaktonsav, glükonsav, galakturonsav, glükuronsav (Merck p. a.) keverékével együtt futattunk, Bebizonyosodott, hogy e savak R_f értékei a pangaminsav R_f értékétől szignifikánsan különböznek. Az almasav, galaktonsav és a glükonsav egymástól való elválasztása azonban ilyen körülmények között nem valósítható meg. 4. ábra

2. táblázat

Pangaminsav elválasztása különböző savaktól

Jelölés	A vegyület neve	Felvitt mennyiség (μg)	R_f
A	Almasav	10	24
B	Galaktonsav	10	24
C	Glükonsav	10	23
D	Pangaminsav	10	43
E	Galakturonsav	10	25
F	Glükuronsav	10	32

Előhívószér: lúgos káliumpermanganát.

Réteg: Kieselgel G (Merck); *Oldószér:* n-propanol : etilacetát : víz : 25%-os NH_3 (50 : 10 : 30 : 10).

Aktíválás: 30 perc 100 $^\circ\text{C}$ -on; *Fejlesztési idő:* 2 óra; *Oldószérfront távolsága:* 14 cm; *Előhívószér:* lúgos káliumpermanganát.

Mennyiségi meghatározás

Purdy és Truter (14) szerint rétegekromatogramon az anyag mennyisége a folt nagyságából meghatározható. A mennyiségi meghatározásra alkalmazható grafikus és matematikai módszer közül a súly-terület arányt a következő empirikus egyenlet írja le:

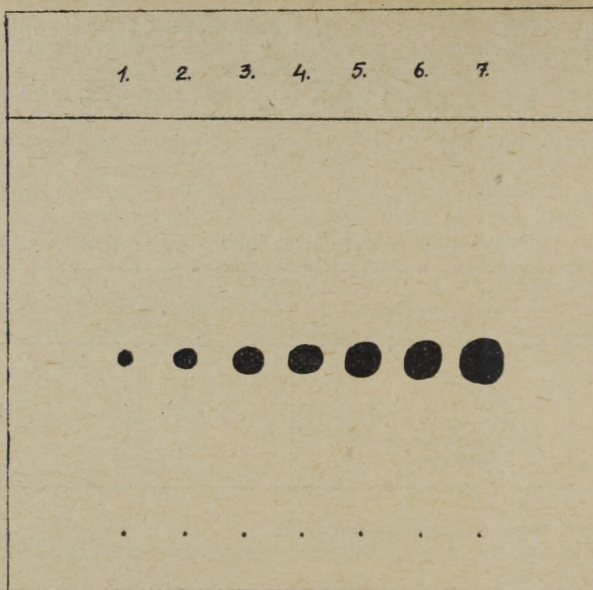
$$\sqrt{A} = M \log W + c$$

azaz a foltterület (A) négyzetgyöke és a felvitt anyagmennyiség (W) logaritmusai között lineáris összefüggés áll fenn. M és c állandók.

A közölt összefüggés kipróbálására tiszta anyaggal mérésorozatot készítettünk. Gyakorlatilag 2–27 mikrogram tartományban végeztük a méréseket, melyek során – a futtatás eredményeképpen – 17–169 mm^2 területű foltokat kaptunk. A területmérést grafikus úton végeztük. Általában nagyobb foltterület pontosabb meghatározást tesz lehetővé, ami arra mutat, hogy e mérés bizonytalansági tényezője a terület meghatározásában van. 5. ábra 6. ábra

A mérésorozat adatait a következő 3. táblázat közli; az adatokból a hivatkozott összefüggés ($\sqrt{A} - \log W$) alapján kalibrációs görbét készítettünk, amelyet a 6. ábrán mutatunk be.

A kalibrációs görbéből ismeretlen töménységű oldat pangaminsav tartalma jól olvasható. Tapasztalataink arra mutatnak, hogy a leírt és kipróbált – szemi-quantitatív – módszer a gyakorlati igényeknek megfelelő és mennyiségi meghatározásra célszerűen alkalmazható.



5. ábra

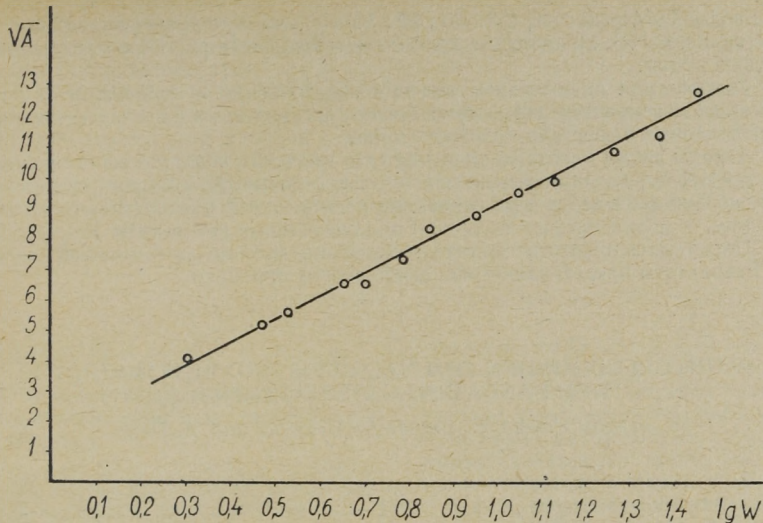
Pangaminsav különböző koncentrációjú rétegekromatogramja
 Réteg: Kieselgel G (Merck)
 Oldószer: n-propanol : etilacetát : víz : 25 %-os NH_3 (50 : 10 : 30 : 10)
 Aktiválás: 30 perc 100 C°-on
 Fejlesztési idő: 2 óra
 Oldószerfront távolsága: 14 cm
 Előhívószer: lúgos káliumpermanganát

1. 3 mg	5. 14,5 mg
2. 4,5 mg	6. 18,0 mg
3. 6,0 mg	7. 22,4 mg
4. 9,0 mg	

3. táblázat

Kalibrációs diagram adatai

W (%)	A (mm ²)	lgW	\sqrt{A} (mm)
2,0	17	0,3010	4,12
3,0	28	0,4771	5,29
3,4	32	0,5315	5,66
4,5	43	0,6532	6,56
5,0	45	0,6990	6,70
6,0	56	0,7782	7,48
7,0	72	0,8451	8,48
9,0	80	0,9542	8,94
11,0	95	1,0414	9,70
13,4	103	1,1271	10,15
18,0	122	1,2553	11,05
22,4	134	1,3502	11,60
27,0	169	1,4314	13,00



6. ábra
Kalibrációs diagram

IRODALOM

- (1) Tomiyama, T., Jone, V.: Ref. Chem. Abstr., 48, 5961 1954.
- (2) Krebs, E. T. Sr., Krebs, E. T. Jr., Beard, H. H., Malin, R., Harris, A. T., Bartlett, C. L.: Intern. Record Med., 104, 18, 1951.
- (3) Krebs, E. T. Sr., Krebs, E. T. Jr.: U. S. Patent 2, 710, 876, 1955.
- (4) Garkina, I. N.: Voprosy Meditsinskoj Himii. 8, 236, 1962.
- (5) Bukin, V. N.: Vitamin B₁₅ (pangamovaja kislota). Moskva. 1965.
- (6) Beard, H. H., Wofford, G.: Exper. Med. Surg. 14, 169, 1956.
- (7) Cupadlla, E., Dispensa, E.: Minerva Med. 48, 3428, 1957.
- (8) Idzumia, M.: Vitamins (Japan), 16, 279, 1959.
- (9) Marschall, F. N., Adamson, R. H., Long, J. P.: Proc. Soc. Exper. Biol. and Med., 107, 240, 1961.
- (10) Bertelli, A., Casentini, S., Lanzetta, A.: Minerva Med. 48, 3425, 1957.
- (11) Abdel-Ahker, M. A., Smith, F.: J. Amer. Chem. Soc. 73, 5859, 1951.
- (12) Háis, J. M., Maček, K.: Papirkromatográfia kézikönyve. Budapest, 1961.
- (13) Mázor L.: Szerveskémiai analízis I. Budapest. 1961.
- (14) Purdy, S. J., Truter, E. V.: Chemistry and Industry. 506, 1962.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОБЛАСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАНГАМИНОВОЙ КИСЛОТЫ (витамина B₁₅)

Л. Телегди Ковач, Е. Краснер Берндорфер и А. Дэваи

Авторы разработали метод слоистой хроматографии для качественного выявления и количественного определения пангаминной кислоты, найденной в 1950 г., идентифицированной и синтезированной в 1951–55 гг. Отделяя пангаминную кислоту на слое Кизелгел Г. (Мэрцк) активированного при температуре 100° С в смеси растворителя н-пропанол : этилаце-

тат : вода : 25%-ный NH_3 (50 : 10 : 30 : 10) получили хорошо репродуцируемую величину R_f . Проявление проводили в щелочном растворе марганцево-кислого калия.

Разработали оптимальные условия обнаружения и наблюдали за возможными мешающими действиями прочих органических кислот имеющихся в естественных веществах подобного типа.

Авторы двумя методами проверяли тот факт, что обнаруженное соединение действительно является ли пангаминовой кислотой, а именно; определением содержания азота и на основании спектральной ультрафиолетовой абсорпции. У обоих методов получили положительные результаты.

Попытались провести и количественное определение пангаминовой кислоты. Результаты представляют обнадеживающие признаки.

UNTERSUCHUNGEN ZUM NACHWEIS UND BESTIMMUNG DER PANGAMINSAURE (VITAMIN B_{15})

L. Telegdy Kováts, É. Berndorfer Kraszner und A. Dévai

Zum qualitativen Nachweis und quantitativen Bestimmung der im 1950. zum erstenmal isolierten und in 1951–55. synthetisierten Pangaminsäure haben die Verfasser eine dünnenschichtchromatographische Methode ausgearbeitet. An einer bei 100 °C aktivierten Kieselgel G (Merck) Schicht, mit einem Gemisch von n-Propanol : Aethylacetat : Wasser : 25%-igem Ammoniak (50 : 10 : 30 : 10) als Fliessmittel konnte man gut reproduzierbare R_f -Werte erhalten; zur Sichtbarmachung der Pangaminsäure wird alkalische Kaliumpermanganatlösung verwendet.

Die Verfasser haben auch die optimalen Bedingungen für den Nachweis und die Bestimmung ausgearbeitet, und den eventuellen störenden Einfluss von organischen Säuren, die in Naturstoffen am häufigsten vorkommen, untersucht.

Für die Identifizierung der nachgewiesenen Verbindung – also dass diese Verbindung wirklich Pangaminsäure ist – wurden zwei Methoden angewendet: die Bestimmung des Stickstoff-Gehaltes und eine Kontrolle auf Grund der UV-Spektren: Resultate beider Methoden bestätigten die Originalbefunde. Auch die Versuche zur quantitativen Bestimmung der Pangaminsäure zeigten günstige Ergebnisse; die Methode scheint einfach und doch verlässlich zu sein.

INVESTIGATIONS ON THE DETECTION AND DETERMINATION OF PANGAMETIC ACID (VITAMIN B_{15})

L. Telegdy Kováts, É. Berndorfer – Kraszner and A. Dévai

A new method, based on thin-layer chromatography, was evolved by the authors for the detection and determination of pangametic acid, first isolated in 1950 and then synthesized in 1951–1955. Well reproducible R_f -values were obtained on a layer of Kieselgel G (Merck), activated at 100°C, using a 50 : 10 : 30 : 10 solvent mixture of n-propanol : ethyl acetate : water : 25% ammonia as developer. Visualization of pangametic acid was carried out by spraying the chromatogram with an alkaline solution of potassium permanganate.

The optimum conditions for the detection and determination were studied and the possible interfering effects of organic acids usually simultaneously present were investigated.

Two different tests were used for the identification of the compound detected, to prove its identity with pangamic acid: the determination of its nitrogen content, and a control test based on ultraviolet spectra. The results of both tests confirmed the identity of pangamic acid.

Experiments as regards the quantitative determination of pangamic acid gave similarly favourable results; the evolved new method appears to be a simple but reliable one.

HEINTZE, K.:

A kénssav oxidációssebességének befolyásolása gyümölcs- és zöldségtermékekben

(Beeinflussung der Oxidationsgeschwindigkeit der schwefeligen Säure in Obst- und Gemüseprodukten.)

Industr. Obst- in Gemüseverwert. 49: 185, 1966.

Kénssavval kezelt gyümölcsvelők, izék, aszalt gyümölcsök stb. elemzési eredményeinek összehasonlítása azt mutatta, hogy egyes készítményeknek hosszú tárolás után még nagy volt a SO_2 -tartalmuk, míg mások gyorsabban oxidáltak. Szerzők azért modellkísérletekben vizsgálták meg a készítmények különböző tartalmi anyagainak oxidációs hatását kénssavra. A kísérletek azt mutatták, hogy már vas- és rézionok igen csekély nyomai katalikusán erősen gyorsítják az oxidációt. Az irodalomban említett vas- és rézmennyiségek a mindenkori gyümölcs-hamukban ezerszeresen meghaladják azokat a mennyiségeket, amelyeket a modellkísérletben használtak fel. Szul-

fitoldatok oxidációja a gyakorlatban mégis lassabban fut le. Ezért azt gondolták, hogy gátló anyagok vannak jelen, pl. polifenolok. Megfelelő kísérletek azután azt mutatták, hogy vas-ionokat hatásukban polifenolok erősen gátolnak, rézionokat ellenben nem. Ezt a fém-fenolkomplexumoknak eltérő állandóságával magyarázzák különböző pH-értékek mellett.

Karbonilvegyületek készletetik az oxidációt a hidrogénszulfitionoknak a karbonilcsoporthoz kötése által. Szerves savak tekintetében a vegyi szerkezet és az oxidatív hatás között összefüggést nem lehetett megállapítani, így pl. oxál- és szorbinsav oxidációt gátlók, aszcorbin- és citromsav, továbbá foszforsav erősen prooxidatív viselkedést mutatnak. Prooxidatív viselkedést mutatnak NH_2 -csoportokkal bíró anyagok is. Alkoholos OH-csoportok közömbösen viselkednek. Ez vonatkozik monofenolok fenolos OH-csoportjaira is. A környezet pH-értéke mindenkor döntő szerepet játszik, mind egy túl magas, mind egy túl alacsony – pH 3,2 alatti – érték az oxidációt előmozdítja.

Kieselbach Gy. (Budapest)