Beiträge zur Tabakforschung · Heft 4 · November 1961
DOI: 10.2478/cttr-2013-0020

Meßverfahren zur Bestimmung des hygroskopischen Verhaltens von Schnittabaken

von J. A. Schmidt

Bundesanstalt für Tabakforschung, Forchheim

Durch den Vorgang der Wasseraufnahme wird bei Tabak der Ablauf zweier großer Gruppen von irreversiblen Vorgängen ermöglicht. Die Vorgänge der ersten Gruppe sind tabakeigener Art und stellen einen großen Komplex von biochemischen Reaktionen dar, die von Sorte, Herkunft, Alter, technologischer Behandlung usw. des Tabaks abhängig sind. Vorgänge wie die Bräunungsreaktionen nach Maillard, die Fermenthydrolysen etc. gehören hierunter. Die zweite Gruppe der Vorgänge wird durch Mikroorganismen hervorgerufen, die in großer Zahl auf oder in dem geschnittenen Tabak vorhanden sind und die nach ihrer Keimung und Vermehrung den Tabak als Nährsubstrat verwenden und ihn durch ihre Lebensvorgänge teils günstig, wie beispielsweise im Falle der Naturfermentation, teils ungünstig, wie bei der Verschimmelung während der Lagerzeit, beeinflussen.
Das Gleichgewicht zwischen Tabakwassergehalt und rel. Luftfeuchtigkeit wird durch die Sorptionsisotherme charakterisiert. Die Vorgänge der ersten Gruppe setzen bereits bei Gleichgewichtsfeuchtigkeiten im Bereich der rel. Luftfeuchtigkeit über 10% ein und nehmen mit steigender Luftfeuchtigkeit in ihrer Intensität stark zu. Die Gruppe der mikrobiellen Vorgänge erfolgt dagegen im Luftfeuchtigkeitsbereich über 70%, wie bereits in einer früheren Arbeit (1) festgestellt wurde. Oberhalb dieser Luftfeuchtigkeit erfolgt ebenfalls eine sprunghafte Zunahme und Aktivierung der chemischen und biologischen Vorgänge, wie *Acker* und *Lück* (2) bzw. *Acker* und *Kaiser* (3, 4) bei enzymatischen Hydrolysen in wasserarmen Lebensmitteln festgestellt haben. Beide Vorgangsgruppen beeinflussen ihrerseits auch das Sorptionsvermögen der Tabake beträchtlich.
Bei der Bestimmung der Sorptionsisothermen wurden von uns zunehmend höhere Werte in der Reihenfolge Orient-, Burley- und Virgintabak festgestellt, was bezogen auf die Wasserkapazität dieser Sorten bedeutet, daß Orienttabake im allgemeinen ein geringes, Burley- und Virgintabake ein hohes Wasseraufnahmevermögen bzw. jeweils eine geringe oder hohe Wasserkapazität besitzen.

Die Schimmelanfälligkeit von Orienttabaken (1) wurde an 8 weiteren Tabaken dieses Typs untersucht und nochmals mit der Anfälligkeit von Burley- bzw. Virgintabaken verglichen. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 1

TABELLE 1

Tabaksorte	Positiver Schimmelbefund nach Tagen bei				
	75%	81%	84%	90%	100%
Samsoun II	25	13	9	4	3
Broussa A. G.	34	14	10	4	3
Serres II	47	18	11	8	3
Katerini III	47	23	11	10	3
Cavalla III	50	16	10	6	5
Smyrna Blend B	58	20	16	9	3
Smyrna A. G.	58	20	11	1	3
Burley USA	oB	25	20	13	11
Virginia USA	oB	30	23	10	16

oB = Befund nach 90 Tagen Beobachtungsdauer

Natürlicher Verschimmelungsgrad von Orient-, Burley- und Virgintabaken bei verschieden hohen Luftfeuchtigkeiten (Versuchstemperatur 25° C)

Bei diesen Untersuchungen, die bei 5 Luftfeuchtigkeitsstufen bei konstanter Temperatur und Luftfeuchtigkeit durchgeführt wurden, ließen sich bei sämtlichen 8 Orienttabakproben in einem Zeitraum von 25 bis 58 Tagen bereits bei einer rel. Luftfeuchtigkeit von 75% bei 25° C positive Schimmelbefunde nachweisen, während die Burley- und Virginproben selbst nach 90 Tagen bei dieser Luftfeuchtigkeit noch vollkommen schimmelfrei waren. Erst mit steigender Luftfeuchtigkeit, also im Bereich über 80%, traten auch bei diesen Tabaksorten positive Befunde ein.

Um festzustellen, ob bei den Virgintabaken infolge der künstlichen Trocknung fungistatische Stoffe gebildet werden, die das Schimmelwachstum verhindern oder aufhalten, wurden Extrakte hergestellt und diese im Impfversuch mit denen von Orienttabaken verglichen. Hierbei zeigten beide Kulturen gleich gutes Schimmelwachstum. Mittels der Gefrierpunktsmethode konnten ebenfalls keine nennenswerten Konzentrationsunterschiede der beiden Nährbodenextrakte festgestellt werden.

Diese Befunde bestätigen die früher ausgesprochenen Zusammenhänge (1) zwischen der Wasserkapazität eines Tabaks und dessen Schimmelanfälligkeit. In Tabakmischungen sind die Komponenten mit dem geringsten Wassersättigungsgrad sowohl für mikrobiologische Infektionen als auch für die in diesen Feuchtigkeitsbereichen forciert ablaufenden chemischen und mikrobiologischen Veränderungen am anfälligsten. Eine Wassergehaltsbestimmung in der Gesamtmischung besagt somit nichts über den Ablauf der möglichen Keimvorgänge, sie liefert vielmehr nur einen Durchschnittswert über mehr oder weniger stark wasser- bzw. dampf-gesättigte Teilzentren der Mischung. In den feuchten Zentren besteht für die Sporen der Mikroorganismen die Möglichkeit zu quellen und auszukeimen. Ist dieser Vorgang einmal im kleinsten Bereich erfolgt, so kann der jeweilige Mikroorganismus durch seine Atmungstätigkeit Wasser bilden und seine Ausbreitung weitertragen.

Im folgenden wird in einem Teilausschnitt versucht, beide Vorgangsgruppen im variierten Temperatur- und Feuchtigkeitsfeld gemeinsam zu erfassen, um den Bedingungen der Praxis möglichst nahezukommen. Derartige Versuchsergebnisse bilden die Grundlage für direkt anzeigende Meßverfahren, die bis heute noch nicht im Gebrauch sind und gelten im Prinzip auch für andere feuchtigkeitsempfindliche Naturprodukte.

Eine große Gruppe von Mikroorganismen produziert während ihrer Lebenstätigkeit leicht erfaßbare Mengen an Katalase. In diese Gruppe gehören auch die für die Verschimmelung von Tabak verantwortlichen Schimmelpilze der Aspergillus- und Penicilliumarten. Wir haben dadurch die Möglichkeit, festzustellen, zu welchem Zeitpunkt die ersten Umsetzungen, die durch die Lebenstätigkeit dieser Mikroorganismen hervorgerufen werden, einsetzen. Außerdem enthalten sämtliche Tabake eigene Katalase, die trotz natürlicher oder künstlicher Trocknung, Lagerung und Alterung bei verarbeitungsfähigen Tabaken, wenn auch manchmal nur in geringer Menge, nachweisbar ist. Beide Katalasen, sowohl die mikrobielle als die tabakeigene, können sehr leicht und genau in der Warburgapparatur oder im Katalasebestimmungsapparat nachgewiesen und registriert werden.

Die Bestimmung dieses Fermentes läßt Rückschlüsse auf die einzelnen Phasen dieser Vorgänge zu. Hierzu wurde geschnittener Orienttabak in einem Falle bei 75 % rel. Luftfeuchtigkeit und 25° C, im anderen Falle bei gleicher Luftfeuchtigkeit, jedoch nach fünfmaliger, jeweils vierstündiger Kühlung auf 15° C konditioniert. Durch diese Abkühlung wurde der Taupunkt überschritten, so daß die rel. Luftfeuchtigkeit im Versuchsraum stark anstieg und sich nach einiger Zeit ein neues Gleichgewicht zwischen Tabakwassergehalt und Versuchsraumfeuchte einspielte. Die nach der Beobachtungszeit resultierende Luftfeuchtigkeit im Versuchsraum stellt ein Maß für die Höhe der Wasseraufnahme des betr. Versuchstabaks dar.

Nach dieser Behandlung wurde festgestellt, daß der Katalasegehalt der Proben im variierten Feuchtigkeitsfeld bei gleicher Versuchsdauer weit stärker abgefallen war als bei den Proben im konstanten Feuchtigkeitsfeld. Bei der anschließenden Lagerung der beiden Versuchsproben bei 75 % und 25° C trat Katalasebildung, bedingt durch die Lebenstätigkeit der Schimmelpilze, bei der Probe mit variierter Feuchtigkeit früher ein als bei den konstant gehaltenen Proben. Bei Virgintabak ergab der gleiche Versuch erwartungsgemäß diese Unterschiede nicht, weil dieser Tabak eine weit höhere Wasserkapazität aufweist, die durch den steileren Anstieg der Sorptionsisotherme angezeigt wird. Bei Orienttabak tritt also eine Wasserkondensation oder zumindest eine Teilkondensation in den Kapillaren ein, die sich bei Virgintabak in diesem Feuchtigkeitsbereich noch nicht nachweisen läßt. Der Gesamtablauf des Versuches kann in folgende Phasen unterteilt werden:

1. Abbau der tabakeigenen Katalase, der von der Höhe der umgebenden Luftfeuchtigkeit und vom Wassersättigungsgrad des Tabaks abhängig ist.
2. Die tabakeigene Katalase wird bei Eintritt der Kondensation bzw. Teilkondensation stark vermindert oder gänzlich aufgebraucht. Gleichzeitig erfolgt die Keimung der Schimmelpilzsporen.
3. Beginnendes Schimmelwachstum bedingt die Bildung neuer Katalase, deren Gehalt bis zum Hundertfachen zunehmen kann.

An weiteren Fermentreaktionen und an den Bräunungsreaktionen können ähnliche Vorgänge festgestellt werden. Die angeführten Untersuchungsergebnisse erlauben Rückschlüsse auf den Wassersättigungsgrad der einzelnen Tabaksorten und auf die damit zusammenhängenden chemischen und mikrobiologischen Vorgänge, deren Erfassung für die Erhaltung der Tabakqualität von großer Wichtigkeit ist.

Es galt nun zu prüfen, inwieweit die oben angeführten Vorgänge am Tabak selbst mittels einer physikalischen Meßmethode erfaßbar sind, denn aus solchen Ergebnissen ist unter Berücksichtigung der für die jeweilige Temperatur bekannten Inkubationszeiten auf das Ausmaß dieser Reaktionen bei der jeweiligen Luftfeuchtigkeit zu schließen. Hierzu erschienen uns elektrische Meßverfahren, die auf der Widerstandsmessung basieren, geeignet. Im Tabak sind zahlreiche lösliche Salze eingelagert. Solange der Tabak trocken ist, also nur sehr wenig Wasser enthält, sind diese Salze nicht in Ionen gespalten, und der Tabak bildet für den elektrischen Strom einen Widerstand. Sobald der Tabak Feuchtigkeit aufnimmt, bilden sich Ionen, die den Elektrizitätstransport vollziehen. Je mehr Wasser vorhanden ist oder bei einer bestimmten Luftfeuchtigkeit aufgenommen, kondensiert oder teilkondensiert wird, um so mehr Ionen beteiligen sich am Elektrizitätstransport und um so größer wird die Leitfähigkeit, um so geringer also der elektrische Widerstand.

Unsere Messungen erfolgten mit niederfrequentem Wechselstrom, da die bei Gleichstrom auftretende Polarisation die Meßergebnisse stark verfälscht. Die bei der Verwendung von niederfrequentem Wechselstrom ebenfalls noch auftretenden Polarisationserscheinungen sind nach *Hartmann* und *Braun* (5) jedoch sehr gering und können vernachlässigt werden, sofern die Elektrodenbelastung wie bei unseren Messungen unter 1 A/dm² liegt. Für den Widerstand R wird der reziproke Wert 1/R als Leitwert bezeichnet und in Ω^{-1} oder in „Siemens S" ausgedrückt: $1\ S = 1/\Omega = 1\Omega^{-1}$; $1\ S = 10^6\ \mu S$. Der Widerstand bzw. die Leitfähigkeit eines Elektrolyten sind außerdem temperaturabhängig. Mit steigender Temperatur nimmt die Leitfähigkeit stark zu.

Wie die Sorptionsisothermen der einzelnen Tabaktypen charakteristische Kurvenverläufe aufweisen, so können mittels der elektrischen Widerstandsmessung ebensolche Sorptionskurven aufgenommen werden. Der Eintritt der Kondensation oder Teilkondensation, welcher in den obigen Versuchen für den Beginn des Schimmelwachstums bzw. für den forcierten Ablauf der Enzymhydrolysen verantwortlich gemacht wurde, muß bei der Widerstandsmessung charakteristische

Werte ergeben, die zu einer direkten Aussage berechtigen. Parallel zu den in Tabelle 1 aufgeführten Werten über die Schimmelentwicklung wurde bei den gleichen Tabaken das elektrische Widerstandsverhalten im variierten Temperatur- und Feuchtigkeitsfeld gemessen. Hierbei wurden die Tabake zuerst bei einer Luftfeuchtigkeit von 75 % und 25 ° C bis zum Eintritt des Gleichgewichtes „Tabakfeuchte — Luftfeuchtigkeit" konditioniert. Der in der ersten Spalte von Tabelle 2 aufgeführte Leitwert

TABELLE 2

Tabaksorte	25° C/75 % rel. Luftfeuchtigkeit	15° C
Samsoun II	30,8	177,0
Broussa A. G.	79,1	188,3
Serres II	56,9	201,9
Katerini III	540,0	1 432,5
Cavalla III	2,1	30,8
Smyrna Blend B	150,0	177,0
Smyrna A. G.	45,8	201,8
Burley USA	519,0	309,0
Virgin USA	369,0	171,0

Leitwerte verschiedener Tabake in µS bei 25° C/75 % Luftfeuchtigkeit und anschließender Abkühlung auf 15° C

entspricht diesem Gleichgewichtswert. Anschließend wurde die Temperatur in den Versuchsgefäßen auf 15 ° C erniedrigt, wobei der Taupunkt überschritten wurde. Danach wurde wieder der Widerstand der einzelnen Tabake bestimmt. Die resultierenden Leitwerte finden sich in Spalte 2. Bei sämtlichen Orienttabaken, die bei konstanter Luftfeuchtigkeit von 75 % positive Schimmelbefunde zeigten, trat nach der Abkühlung eine sehr deutlich sichtbare Erhöhung der Leitfähigkeit ein, die durch Kondensation während des Versuchs bedingt ist. Burley- und Virgintabake zeigten bei 75 % Luftfeuchtigkeit noch kein Schimmelwachstum. Bei diesen Tabaken fand sich innerhalb dieses Versuches keinerlei Erhöhung ihrer Leitfähigkeit, vielmehr erfolgte ein Rückgang, der durch die Temperaturerniedrigung zu erklären ist. Diese Erniedrigung der Leitfähigkeit, bedingt durch die Abkühlung, ist selbstverständlich auch in die Werte der Orienttabake mit eingegangen, wird aber bei diesen Tabaken, die eine geringe Wasserkapazität besitzen, durch die bereits stark ablaufenden Kondensationsvorgänge überdeckt.

Mittels dieser Messungen können wir den Eintritt der Kondensation, zumindest aber den der Teilkondensation im kleinsten Bereich bestimmen. Diesen Vorgängen im kleinsten Bereich kommt aber gerade für den Eintritt der mikrobiellen Infektion große Bedeutung zu, denn hier ist jederzeit die Keimung möglich. Nach dieser Keimung erreicht der betr. Organismus seine aktive Lebensphase und ist dann in der Lage, die gesamte Tabakmischung zu durchwachsen.

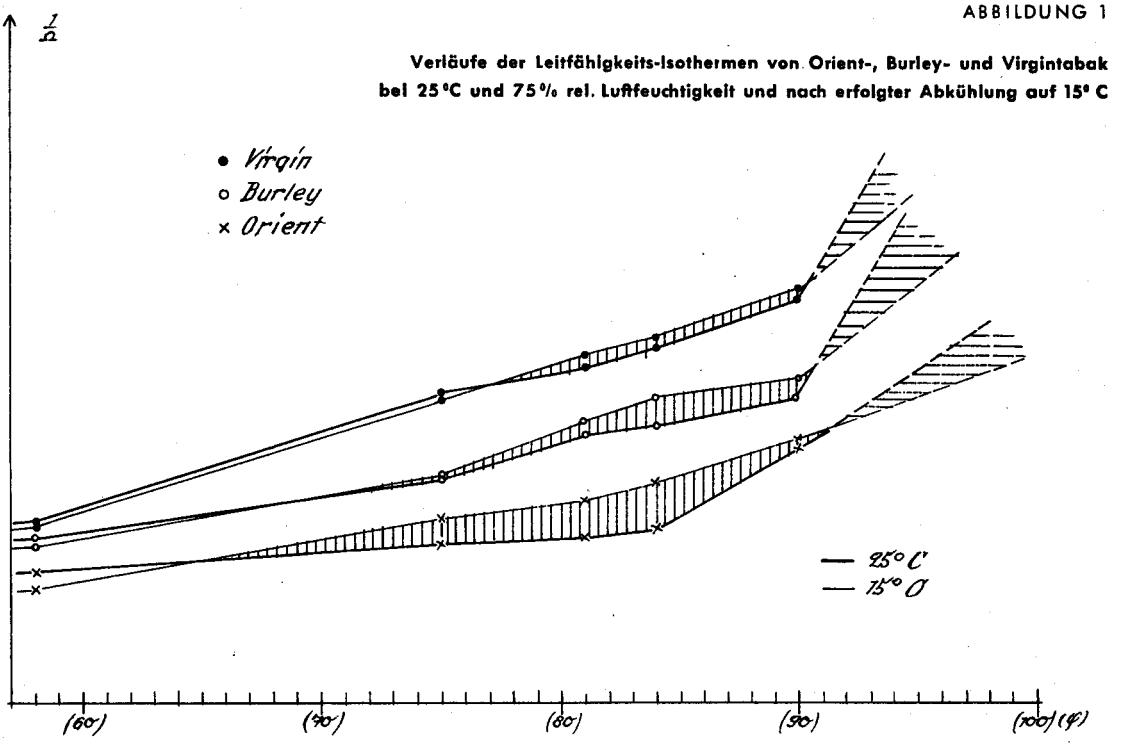
Bei Erhöhung der Versuchsfeuchtigkeiten auf 81 % bzw. 84 % und 90 % und anschließender Abkühlung tritt die Kondensation auch bei Burley- und Virgintabaken ein und ihre Leitwerte nehmen zu. Ist ein bestimmter Sättigungsgrad erreicht, nehmen bei sämtlichen Tabaken die Leitfähigkeiten bei Abkühlung wieder ab, d. h. die elektrolytischen Gesetzmäßigkeiten werden durch die Kondensationsvorgänge nicht mehr überlagert. Man kann also 3 Meßabschnitte unterscheiden, die in Abb. 1 dargestellt sind.

In der Abbildung bezeichnen die stark gezeichneten Kurvenlinien die ermittelten Leitfähigkeits-Isothermen der einzelnen Sorten bei 25 ° C und 75 % rel. Luftfeuchtigkeit. Die nach der Abkühlung auf 15 ° C gemessenen Leitfähigkeitswerte werden durch die dünn eingezeichneten Kurvenlinien dargestellt.

Unterhalb des Kondensationsbereiches nimmt Tabak relativ wenig Wasser auf. Für den Einsatz der mikrobiellen Infektion reicht es nicht aus. Durch die Temperaturerniedrigung wird die Leitfähigkeit stark vermindert, das wenige, aufgenommene Wasser tritt dabei nicht in Erscheinung. Bei weiterer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit erfolgt nun trotz der Temperaturabnahme ein starker Anstieg der Leitfähigkeit. In diesem Bereich wird im Tabak Wasser kondensiert, zumindest teilkondensiert. Diese Bereiche werden in der Abbildung durch senkrechte Schraffur angezeigt. Innerhalb dieses

ABBILDUNG 1

Verläufe der Leitfähigkeits-Isothermen von Orient-, Burley- und Virgintabak bei 25 °C und 75 % rel. Luftfeuchtigkeit und nach erfolgter Abkühlung auf 15° C



Gebietes vollziehen sich die mikrobiellen Infektionen, und die chemischen Umsetzungen laufen beschleunigt ab. Im Bereich der vollen Sättigung (in der Abbildung durch waagerechte Schraffur angezeigt) nimmt die Leitfähigkeit bei Temperaturerniedrigung wieder ab. Diesem Bereich kommt natürlich nur theoretische Bedeutung zu, denn hier verlaufen alle möglichen Vorgänge mit der höchstmöglichen Geschwindigkeit, und außerdem gewinnen hydrophile Mikroorganismen die Oberhand. Ihre Entwicklung und starke Vermehrung würde in kürzester Zeit zur totalen Schädigung des Tabaks führen.

Bei Tabaken mit großer Schimmelanfälligkeit erfolgen die Übergänge zur Kondensation früher als bei Tabaken mit geringer Schimmelanfälligkeit. Dasselbe gilt natürlich in gleicher Weise für die biologischen und chemischen Umsetzungen. Bei geringerer Abkühlung, die in der Praxis zumeist vorliegt, wird der Beginn der Kondensationserscheinungen in den Bereich höherer Luftfeuchtigkeit verschoben. Dieser Bereich liegt aber noch unter der rel. Luftfeuchtigkeit von 75 %, denn bereits hier setzte bei einer konstanten Temperatur von 25 ° C bei sämtlichen Orienttabaken die Verschimmelung ein (Tab. 1).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen erlauben eine Übertragung auf künstliche Meßelektroden, die an Stelle der einzelnen Tabaksorten das charakteristische Verhalten im Feuchtigkeits- und Temperaturfeld anzeigen und in einfacher Form den Eintritt kritischer Lagerbedingungen angeben. Solche Meßorgane sind befähigt, unter Einschaltung elektronischer Zwischenorgane, von außen eingeleitete Gegenmaßnahmen zu registrieren und deren Wirksamkeit anzuzeigen, was für den Benutzer von großer Wichtigkeit ist.

ZUSAMMENFASSUNG

In Fortführung der Arbeiten über die Bedeutung der Kapillarkondensation wurden die mit der Wasseraufnahme verbundenen chemischen und mikrobiologischen Vorgänge untersucht. In Infektionsversuchen wurde die erhöhte Schimmelanfälligkeit von Orienttabaken nachgewiesen. Die mikrobiologischen Befunde im Luftfeuchtigkeitsbereich über 70 % sind in Tab. 1 zusammengefaßt. Durch Registrierung der Katalasewerte und der mikrobiellen Infektion konnte gezeigt werden, daß diese Werte bei Orienttabaken bei 75 % Luftfeuchtigkeit und anschließender Abkühlung positiv

werden. Bei Virgintabaken traten unter gleichen Versuchsbedingungen keine positiven Reaktionen ein. Diese sortenbedingten Unterschiede werden einem verschieden hohen Wassersättigungsgrad zugeschrieben, der bei Orienttabak früher zur Kapillarkondensation führt als bei Virgintabak. Kondensationsvorgänge im kleinsten Bereich ermöglichen den Beginn der mikrobiellen Infektionen und führen zu deutlichen Fermentreaktionen. Mittels der elektrischen Widerstandsmessung wurden Beginn und Umfang der Kondensationsvorgänge bei den vorgelegten Tabaken erfaßt. Derartige Meßergebnisse können auf spezifische Elektroden übertragen werden, die je nach der Hygroskopizität der untersuchten Tabake typische Einzelwerte liefern.

SUMMARY

In continuation of the research on the significance of the capillary condensation, the chemical and microbiological phenomena occuring during the water absorption of tobacco were studied. Infection tests demonstrated a higher moulding susceptibility of oriental tobaccos. The microbiological processes for an air humidity range of more than 70 % are summarized in Tab. 1. At an air humidity of 75 % and subsequent cooling, oriental tobaccos showed positive catalase values and microbiological infections, whereas Virginia tobaccos under the same conditions did not show any positive action. It is suggested that the difference in the varieties is due to the different degree of water saturation resulting in an earlier capillary condensation of oriental tobaccos as compared to Virginia. The condensation processes in the smallest scale enable the beginning of microbial infections and yield marked enzymic activities. The starting point and intensity of these condensation processes were measured by aid of the electric resistance method. The results of this measurement can be transferred to electrodes having the specific characteristics and which furnish individual values typical for the hygroscopicity of the tobaccos under study.

RÉSUMÉ

Pour continuer les recherches sur la signification de la condensation capillaire les phénomènes microbiologiques résultant de l'absorption de l'eau par le tabac sont étudiés. Des expériences d'infection ont démontré que les tabacs orientaux ont une susceptibilité de moisir élevée. Les phénomènes microbiologiques en fonction d'une humidité de l'air au dessus de 70 % ressortent du tableau no. 1. Les valeurs de la catalase et l'infection par microbes sont positives pour les tabacs orientaux à une humidité de l'air de 75 % et un refroidissement subséquent, alors que les virginies ne montrent aucune réaction positive aux conditions égales. Ces différences en fonction des diverses espèces semblent être dues au différent degré de saturation de l'eau qui résulte dans une condensation capillaire se révélant plutôt pour les tabacs orientaux que pour les virginies. La condensation dans le plus petit cadre favorise le commencement d'une infection par microbes et aboutit à une activité d'enzymes remarquée. La détermination du commencement et de l'étendue de ces phénomènes de condensation est faite à l'aide de mesure de la résistance électrique. De tels résultats peuvent être transférés aux électrodes, ayant les caractéristiques spécifiques du tabac, et qui fournissent des dates individuels en fonction de l'hygroscopicité des divers tabacs étudiés.

LITERATUR

1. Schmidt, J. A., Tabakforschung 1/26 (1959), 93.
2. Acker, L., und Lück, E., Ztschr. f. Lebenmittelunters. und -forschung 108 (1958), 256.
3. Acker, L., und Kaiser, H., Ztschr. f. Lebensmittelunters. und -forschung 110 (1959), 349.
4. Acker, L., und Kaiser, H., Ztschr. f. Lebensmittelunters. und -forschung 115 (1961), 201.
5. Hartmann und Braun A. G., Elektrische und wärmetechnische Messungen, 8. Aufl. (1956), 75.

Anschrift des Verfassers:
Bundesanstalt für Tabakforschung, Forchheim bei Karlsruhe/Baden

Dr. Grob warnt vor einer einfach, anschaulichen Deutung des verbreiteten Begriffes der „Kapillarkondensation". Für Kapillare wird ein mittlerer Durchmesser von 30 mcg, entsprechend 3×10^{-3} cm angegeben. Das Wassermolekül hat einen Durchmesser von ca. 3×10^{-8} cm. Bei Auffüllung einer Kapillare mit Wasser würden also von Wand zu Wand ca. 100000 Wassermoleküle in einer Reihe zu liegen kommen, von denen höchstens 3 direkt an der Wandung liegende Moleküle besonderen Verhältnissen ausgesetzt wären. Der weit überwiegende Rest wäre unbeeinflußtes Wasser, das sich unmöglich mit einer relativen Feuchtigkeit der umgebenden Luft von z. B. 75% im Gleichgewicht erhalten könnte.

Theoretische Überlegungen lassen es also als unmöglich erscheinen, daß in totem Blattgewebe bei Luftfeuchtigkeiten von unterhalb ca. 95% eigentliche Ansammlungen kompakten Wassers in mikroskopischer Größenordnung bestehen können.