

담배종류별 흡습 및 방습 특성

김용옥* · 정한주 · 공판임 · 장기철

KT&G 중앙연구원 담배연구소
(2004년 5월 26일 접수)

Moisture Sorption and Desorption Characteristics of Tobacco Types.

Yong-Ok Kim*, Han-Ju Jung, Pan-Im Gong and Gee-Chul Jang

KT&G Central Research Institute

(Received May 26, 2004)

ABSTRACT : This study was carried out to investigate moisture sorption and desorption characteristics followed by tobacco type. Experiments were performed at various temperature(5, 15, 25, 40 °C) and relative humidity range (11~84 %) controlled by saturated salt solution. Regression equation was obtained to predict equilibrium moisture according to various relative humidity, temperature and tobacco types. The obtained regression equation showed high R^2 (above 0.95) and predicted accurate equilibrium moisture. Equilibrium moisture contents declines in the following order when a relative humidity is 50 % or above : expanded stem, flue-cured, expanded tobacco, reconstituted tobacco, USA flue-cured, orient, burley. To maintain 13 % moisture of each tobacco type in the range of 5~40 °C, it is recommendable to control relative humidity 49~56 % for expanded stem, 50~57 % for flue-cured, 54~61 % for USA flue-cured, 56~60 % for reconstituted tobacco, 57~62 % for expanded tobacco, 58~64 % for orient and 58~65 % for burley, respectively. It means that the relative humidity of each tobacco type should be differently controlled to maintain the same moisture under the same temperature. In the range of 5~25 °C, the lower temperature showed the higher equilibrium moisture content.

Key words : equilibrium moisture, moisture sorption and desorption

담배 수분은 부풀성, 부스리짐 등 담배 물리적 특성과(Kato 등, 1980; Rosa, 등 1984; Adams, 1987, 1988) 연소성, 연기성분 및 담배 껍미에 직접적인 영향을 미친다(진 등, 1981; Nakanishi, 1999). 담배종류별 온도와 상대습도가 수분 흡습과

방습에 미치는 영향에 관한 연구는 담배종류별 저장조건 설정, 가공작업장 환경조건과 담배종류별 가공조건 설정, 순엽과 각초 silo에 저장조건, 권상작업시 환경 조건 설정 및 제품담배 적정수분 유지조건 등에 활용되기 때문에 이에 대한 많은

*연락처 : 305-805 대전광역시 유성구 신성동 302번지, KT&G중앙연구원

*Corresponding author : *KT&G Central Research Institute, 302 Shinseong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-805, Korea*

연구가 수행되었다(Locklair 등, 1957; Ronald, 1976; Kamei 등, 1941; Handy, 1982; Ashcraft, 1988; Kameoka, 1995).

외국의 경우 담배 흡습과 방습 특성에 관한 연구는 Samejima 등(1978)이 황색종, 오리엔트종, 버어리종에 대해 담배 종류별 평형수분 차이, Ronald(1976)가 황색종 저장조건 설정을 위한 온도와 상대습도에 따른 평형수분 조사, Nakanishi 등(1989)이 가향제가 평형수분에 미치는 영향 및 제품담배의 수분관리(Handy, 1982; Ashcraft, 1988)를 위한 온도 및 상대습도에 따른 평형수분에 등에 대한 많은 보고가 있고, 이러한 수분 흡습과 방습 특성을 기초로 잎담배 저장, 원료가공 시 환경조건 설정 및 제품담배 수분관리에 활용하고있다. 국내의 경우 담배 흡습과 방습 특성에 관한 연구는 진 등(1981)과 오 등(1996)이 황색종, 버어리종 및 바스마 일부등급, 김 등(1997, 1998)이 제품담배와 보습제 첨가가 평형수분에 미치는 영향에 관해 부분적인 연구가 수행된 적이 있었다. 그러나 제품담배 원료로 사용되는 각 담배종류 및 등급에 대해 온도 및 상대습도에 따른 수분 흡습과 방습 특성에 대한 종합적인 연구결과가 없어, 담배 종류별 수분관리를 위한 온도와 상대습도 조건 설정에 대한 자료가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 제품담배 제조에 사용되는 담배종류에 대해 광범위한 온도와 상대습도에 따른 수분 흡습과 방습 특성을 조사하여, 담배 종류별 저장조건 설정, 공정관리 및 제품담배 수분관리를 위한 기초자료를 얻고자 수행하였다.

재료 및 방법

본 연구에 사용된 담배 종류 및 등급은 황색종(KF 114) 12등급, 버어리종(KB 108) 12등급, 판상엽 4종(압연식, 제지식, 황주맥 판상엽, 제지식 개선), 팽화주맥, 미국 황색종 2등급(B3K, C4F), 팽화각초, 오리엔트 5종(이즈미르, 제벨, 삼슨, 바스마, 크루모브그라드)이었다. 팽화각초와 팽화주맥을 제외한 나머지 담배는 가습후 절각하여(무가향) 각초 상태 시료를 사용하였다. 담배 종류별로 항온항습기에서 초기수분을 13 % 내외로 조절 후,

각 담배 종류별로 시료 약 2 g을 평량병에 넣고 (5 반복), 온도를 5, 15, 25, 40 °C로 조절된 항온기 내에서 Table 1과 같은 염 포화용액으로 상대습도를 조절한 캐비닛에 평량병을 넣고 시간 경과에 따른 수분의 변화를 14~16일간 조사하였다.

Table 1. Saturated salt solutions to control relative humidity at 5, 15, 25 and 40 °C

Saturated salt solutions	Relave humidity(%)
Lithium chloride	11~16
Potassium acetate	23~25
Magnesium chloride	31~33
Potassium carbonate	40~45
Magnesium nitrate	51~54
Sodium bromide	57~59
Cupric chloride	65~68
Sodium chloride	75~76
Lithium sulfate	81~85

일정온도 및 상대습도 조건에서 흡습과 방습 평형에 도달한 시료를 인위적으로 방습조건(예: 상대습도 84 % 평형시료→75 %로 옮김)과 흡습조건(예: 상대습도 11 % 평형시료→23 %로 옮김)으로 조절하여 조사가 가능한 상대습도 범위에서 흡습과 방습 조건에서 평형수분을 구하였다. 온도와 상대습도에 따른 담배 종류별 및 등급별 수분 흡습과 방습 시 평형수분은 Walton 등(1970)이 인용한 지수방정식 $M-Me/Mo-Me=e^{-kt}$ 을 사용하여 계산하였다.

M = t 시간후의 수분 함량(%),

Me = 평형수분 함량(%),

Mo = 시료 초기수분 함량(%),

k = 흡습 또는 탈습상수,

t = 조화시간(Hr)

황색종과 버어리종은 12 등급, 판상엽은 4종, 미국 황색종은 2등급, 오리엔트는 5종을 온도와 상대습도에 따른 평균값을 사용하여 담배 종류별 평형수분을 구하였다.

결과 및 고찰

담배 종류별 평형수분 평균값을 사용하여 온도 5, 15, 25, 40 °C에서 상대습도(X)에 따른 수분 흡습과 방습시 평형수분(Y)을 예측할 수 있는 2차회귀식을 작성한 결과는 Table 2, 3과 같았다.

담배 종류별, 온도별로 상대습도에 따른 수분 흡습(Table 2)과 방습(Table 3)시 평형수분을 예측할 수 있는 2차회귀식은 결정계수 값이 0.95~1.00 범위를 나타내어 정확도가 높게 온도별 상대습도에 따른 평형수분을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 온도별로는 40 °C 에서 다른 온도에 비해 결정계수 값이 다소 낮았으나 담배 종류별로는 큰 차이를 보이지 않았다. 이 식을 사용하면 온도 및 상대습도에 따른 담배 종류별 평형수분을 계산할 수 있어 담배 종류별로 저장 시 온도별 적정 상대습도 조건설정, 팽화주맥과 팽화각초의 silo 조건 설정 및 담배 종류별로 일정수분으로 조화할 때 온도별 상대습도 조건설정 등에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2에서 구해진 2차회귀식을 사용하여 담배 종류별 수분 흡습과 방습시 15 °C 평형수분 함량을 조사한 결과는 Fig. 1, 2 와 같았다.

담배 종류별 상대습도에 따른 평형수분은 모두 Sigmoid 형의 곡선을 나타내고 있었으며, 상대습도가 낮은 영역에서는 담배 종류별 평형수분은 큰 차이를 보이지 않았으나, 상대습도가 높아지면 평형수분의 차이가 커지는 것으로 나타났는데, 이는 다른 연구결과(진 등 1981; Samejima 등, 1978)와 비슷하였다. 담배 종류별 흡습과 방습 시 평형수분은 상대습도 약 50 % 이상에서는 온도별(5, 15, 25 °C)로 다소 차이가 있으나(Table 2,3, Fig. 1,2 참조) 대체적으로 수분 흡습과 방습시 모두 팽화주맥의 평형수분 함량이 가장 높았고 황색종, 팽화각초, 판상엽) 미국황색종) 오리엔트종) 버어리종 순으로 나타나 다른 연구결과와 비슷하였다(진 등 1981; Samejima 등, 1978). 온도 40 °C에서도 담배종류별 평형수분은(Table 2,3참조) 상대습도 50 % 이상에서 오리엔트종이 버어리종에 비해 평형수분이 오히려 낮아지는 것을 제외하고는 다른

Table 2. The regression equation of tobacco type to predict sorption equilibrium moisture followed by relative humidity

Tobacco type	5°C ¹⁾		15°C ²⁾		25°C ³⁾		40°C ⁴⁾	
	Equation	R ²	Equation	R ²	Equation	R ²	Equation	R ²
Flue-cured	Y=0.0038X ² -0.1028X+8.6291	0.99	Y=0.0047X ² -0.1856X+8.9925	0.99	Y=0.0047X ² -0.1953X+9.2418	1.00	Y=0.0079X ² -0.4594X+13.674	0.99
Burley	Y=0.0041X ² -0.1990X+10.356	1.00	Y=0.0047X ² -0.2704X+11.172	0.97	Y=0.0033X ² -0.1253X+7.1853	1.00	Y=0.0080X ² -0.5122X+13.638	0.97
Recon. tobacco	Y=0.0050X ² -0.2431X+10.974	1.00	Y=0.0064X ² -0.3547X+12.574	0.99	Y=0.0053X ² -0.2504X+9.8135	1.00	Y=0.0098X ² -0.6471X+16.596	0.98
Ex. stem	Y=0.0050X ² -0.1915X+10.272	1.00	Y=0.0070X ² -0.3641X+13.182	0.99	Y=0.0058X ² -0.2308X+9.6838	1.00	Y=0.0108X ² -0.7057X+18.741	0.98
USA Flue-cured	Y=0.0042X ² -0.1884X+10.835	1.00	Y=0.0059X ² -0.3257X+12.947	1.00	Y=0.0053X ² -0.2515X+10.300	1.00	Y=0.0091X ² -0.6194X+17.193	0.98
Ex. tobacco	Y=0.0041X ² -0.1844X+10.006	0.99	Y=0.0053X ² -0.2871X+11.198	0.99	Y=0.0044X ² -0.1818X+8.1911	1.00	Y=0.0082X ² -0.5313X+14.506	0.98
Orient	Y=0.0043X ² -0.2034X+10.387	1.00	Y=0.0052X ² -0.2812X+11.042	0.99	Y=0.0043X ² -0.1831X+8.2869	1.00	Y=0.0078X ² -0.5203X+14.228	0.98

Y= equilibrium moisture, X= relative humidity.

Relative humidity range : 1) 25~84%, 2) 24~84%, 3) 23~75%, 4) 23~81%.

Table 3. The Regression equation of tobacco type to predict desorption equilibrium moisture followed by relative humidity

Tobacco type	5°C ¹⁾		15°C ²⁾		25°C ³⁾		40°C ⁴⁾	
	Equation	R ²	Equation	R ²	Equation	R ²	Equation	R ²
Flue-cured	$Y=0.0033X^2-0.0702X+8.3417$	1.00	$Y=0.0023X^2+0.0196X+5.4683$	1.00	$Y=0.0042X^2-0.1299X+7.5568$	0.99	$Y=0.0043X^2-0.1195X+6.6667$	0.98
Burley	$Y=0.0026X^2-0.0593X+7.7040$	0.99	$Y=0.0020X^2-0.0156X+5.9977$	0.98	$Y=0.0025X^2-0.0496X+5.7459$	1.00	$Y=0.0036X^2-0.1165X+5.8455$	0.97
Recon. tobacco	$Y=0.0061X^2-0.3137X+11.459$	0.98	$Y=0.0039X^2-0.1182X+7.3014$	0.99	$Y=0.0035X^2-0.0828X+6.2607$	1.00	$Y=0.0038X^2-0.1082X+5.8593$	0.96
Ex. stem	$Y=0.0045X^2-0.1459X+9.2433$	1.00	$Y=0.0047X^2-0.1349X+8.0876$	0.99	$Y=0.0044X^2-0.0994X+6.8460$	1.00	$Y=0.0045X^2-0.1353X+7.1552$	0.97
USA Flue-cured	$Y=0.0042X^2-0.1714X+10.158$	0.99	$Y=0.0041X^2-0.1371X+8.6198$	0.99	$Y=0.0034X^2-0.0794X+6.8421$	1.00	$Y=0.0037X^2-0.1359X+7.5721$	0.96
Ex. tobacco	$Y=0.0040X^2-0.1694X+9.5535$	1.00	$Y=0.0035X^2-0.1054X+7.2807$	0.99	$Y=0.0034X^2-0.0803X+5.9584$	1.00	$Y=0.0034X^2-0.0958X+5.7779$	0.97
Orient	$Y=0.0039X^2-0.1696X+9.6895$	0.99	$Y=0.0035X^2-0.1191X+7.5866$	1.00	$Y=0.0030X^2-0.0641X+5.8310$	1.00	$Y=0.0025X^2-0.0605X+5.6660$	0.95

Y= equilibrium moisture, X= relative humidity.

Relative humidity range : 1) 16~76%, 2) 13~75%, 3) 11~67%, 4) 11~67%.

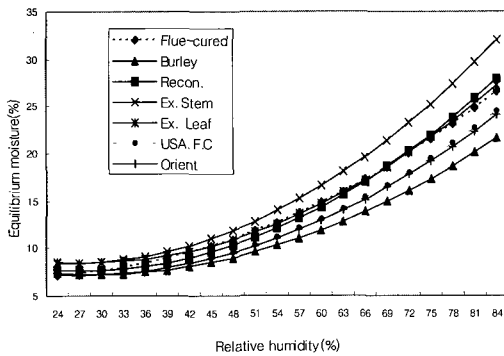


Fig. 1. Moisture sorption isotherms of various tobacco types at 15°C.

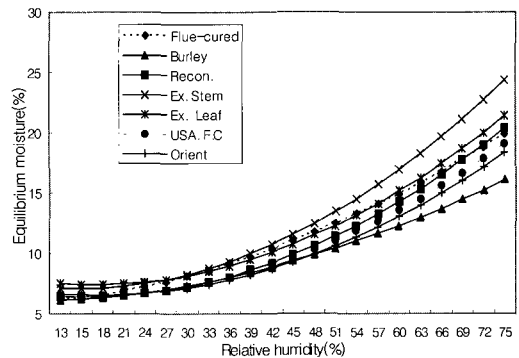


Fig. 2. Moisture desorption isotherms of various tobacco types at 15°C.

온도와 비슷한 경향을 보였다. 담배 종류별로 상대습도 50% 미만에서 평형수분은 다소 차이는 있으나 대체적으로 상대습도 50% 이상과 비슷한 경향을 보여 진 등의(1981)의 연구 결과와(평형수분 : 버어리종) 오리엔트종) 황색종) 차이가 있었는데

이 는 시험에 사용된 담배종류와 등급이 상이한 데 기인된 것으로 고찰된다.

Table 2,3에서 구해진 2차회귀식을 사용하여 담배 종류별로 수분 13% 관리를 위한 온도에 따른 상대습도를 계산한 결과는 Table 4와 같았다.

Table 4. The relative humidity required to maintain 13% moisture at 5, 15, 25, 40 °C followed by tobacco type

Tobacco type	5 °C		15 °C		25 °C		40 °C	
	1 ¹⁾	2 ²⁾	1	2	1	2	1	2
Flue-cured	50 ³⁾	50	55	53	56	55	57	55
Burley	60	58	64	63	65	65	63	64
Recon. tobacco	56	56	57	56	58	57	60	60
Expanded stem	50	49	51	50	51	50	56	51
USA Flue-cured	55	54	56	54	57	56	61	61
Expanded tobacco	58	57	60	58	60	59	62	62
Orient	58	58	60	60	61	61	64	64

1) sorption, 2) desorption, 3) relative humidity(%).

온도 5, 15, 25, 40 °C에서 수분을 13 % 내외로 관리하기 위한 상대습도는 팽화주맥은 49~56 %, 황색종은 50~57 %, 미국 황색종은 54~61 %, 판상엽은 56~60 %, 팽화각초는 57~62 %, 오리엔트종은 58~64 %, 버어리종은 58~65 %로 나타났다. 따라서 담배 종류별로 온도에 따른 목표수분(13 %) 관리를 위해서 요구되는 상대습도가 달라지기 때문에, 담배 종류별 저장조건과 silo 설정조건이 달라질 필요가 있다. 수분 흡습에 비해 방습시 수분 13 % 관리를 위한 상대습도가 낮아지는 것은 hysteresis 현상으로(진 등 1981) 설명된다.

Table 2, 3에서 구해진 2차회귀식을 사용하여 황색종 담배의 온도별 수분 흡습과 방습시 상대습도에 따른 평형수분 함량을 조사한 결과는 Fig. 3, 4와 같았다.

황색종의 경우 온도 5~25 °C 범위에서는 동일 상대습도에서 온도가 높아질수록 평형수분이 낮아지는 것으로 나타났고, 이러한 경향은 모든 종류 담배에서 동일하였으며(Table 2, 3 참조) 다른 연구결과(진 등 1981)와 비슷하였다. 온도 40 °C에서 상대습도 60 % 미만은 온도가 높아질수록 (5 °C → 40 °C) 평형수분이 낮아지는 현상이 수분 흡습과

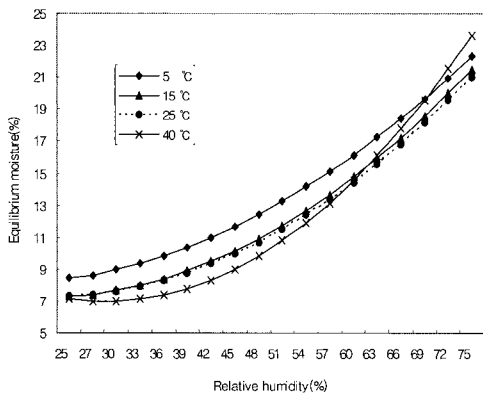


Fig. 3. Moisture adsorption isotherms of flue-cured tobacco at various temperature.

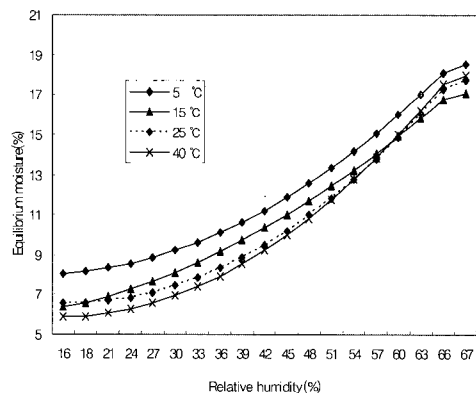


Fig. 4. Moisture desorption isotherms of flue-cured tobacco at various temperature.

방습시 잘 나타났으나, 수분 흡습시 상대습도 70% 이상에서는 모든 종류의 담배에서 오히려 온도가 낮은 처리에(5~25°C) 비해 높아지는 현상이 나타났다(Table 2,3 참조). 온도 40°C에서 상대습도가 높을 때 저온에 비해 평형수분 함량이 높아지는 현상은 평형수분 조사시간이 14~16일 이상 소요 되어, 시료가 고온과 높은 수분에 장기간 경과되면서 육안적으로 색상이 암갈색으로 변화되는 현상이 관찰된 것으로 미루어 담배의 변질에 의한 수분 흡습 특성이 달라지기 때문에 나타난 현상으로 추정된다. 따라서 고온(40°C 이상)과 상대습도가 높을 때 평형수분 조사를 위해서는 본 연구에서 사용한 방법보다는 Kobari 등(1996)이 제시한 담배 중 공기를 제거하고 수증기 환경 하에서 평형수분을 조사하는 방법이 바람직할 것으로 고찰된다.

결 론

담배 종류별 무가항 각초를 온도 5, 15, 25, 40°C에서 염 포화용액으로 상대습도를 11~84%로 조절된 용기에 넣고 시간경과별 수분 흡습과 방습 특성을 조사한 결과는 아래와 같다.

담배 종류별로 평형수분 평균값으로 온도 5, 15, 25, 40°C에서 상대습도에 따른 평형수분을 예측할 수 있는 2차회귀식을 작성한 결과 R² 값이 0.95 이상으로 정확하게 평형수분 예측이 가능할 것으로 판단된다. 작성된 회귀식으로 담배 종류별 평형수분을 조사한 결과 평형수분은 상대습도 50% 이상에서 팽화주맥이 가장 높고 황색종, 팽화각초, 판상엽 > 미국황색종 > 오리엔트 > 버어리종 순으로 나타났다. 담배 종류별로 온도 5~40°C 범위에서 수분을 13% 유지하기 위해서는 상대습도를 팽화주맥은 49~56%, 황색종은 50~57%, 미국황색종은 54~61%, 판상엽은 56~60%, 팽화각초는 57~62%, 오리엔트종은 58~64%, 버어리종은 58~65 %로 나타나 담배 종류별로 상대습도를 다르게 관리하여야 할 것으로 판단된다. 온도 5~25°C 범위에서는 온도가 낮을수록 모든 종류 담배에서 평형수분이 높은 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Adams Gail (1987) Moisture correction study for cut rolled stems. R. J. R. document. 509904038.
- Adams Gail (1988) Moisture correction study second blend of VRP. R. J. R. document. 510521551.
- Ashcraft C. R. (1988) Tobacco moisture dynamics study. R. J. R. document. 524907614.
- Handy Betty (1982) RL-Equilibrium moisture and humectants. P. M. document. 204026338.
- 진학용, 최승찬, 이태호, 유광근 (1981) 잎담배의 흡습 및 탈습에 관한 연구. 한국연초학회지 3(1) : 30-40.
- Kamei, S. & Suzuki, S. (1941) Tabako Ganyu Suibun no Kenkyuu (Dai 2 Hou) (in Japanese). *Kogyo Kagaku Zasshi* 44: 351-354.
- Kameoka, T. (1995) Sorption in water and chemical potential. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 42: 140-146.
- Kato, I., Katayama, Y., Shimizu, Y & Shimizu, J. (1980) Effect of the form of shred on the compressive characteristics of cut tobacco assembly. *Sen'i Gakkai Shi*. 36(6): 89-92.
- 김기환, 최영현 등 (1997) 담배제조공정에 관한 연구. 담배연구보고서(제조분야) P. 193-216.
- 김기환, 김병구 등 (1998) 담배제조공정에 관한 연구. 담배연구보고서(제조분야) P. 140-145.
- Kobari, M., Shimizu, Y., Endo, M. & Inazumi, H. (1996) On the equilibrium moisture content of cell wall materials. *Kagaku Kogaku Ronbunshu* 5: 547-552.
- Locklair, E. E., Veasey, L. G. & Samfield, M. (1957) Equilibrium desorption of water vapor on tobacco. *Agric. Food Chem.* 5: 294-298.
- Nakanishi, Y. & Kobari, M. (1989) Binary adsorption equilibrium of water and ethanol vapor on contractive plant material. *Kagaku Kogaku Ronbunshu* 15: 968-976.

- Nakanishi, Y. (1999) Physical properties of leaf tobacco. Tobacco production, chemistry and technology. p.313-319. Blackwell Sci., Inc., MA., U.S.A.
- 오인혁, 김기환, 정경락 (1996) 담배의 수분 흡착특성과 흡착 등온식의 모델에 관한 연구. 한국연초학회지 18(2): 150-159.
- Ronald F. R. (1976) Humidity control for tobacco storage warehouse. B. A. T. document. 657047134.
- Rosa N., Woolard G. R. & Siddiqui I. R. (1984) Associations between certain chemical constituents and shatter resistance of tobacco at equilibrium moisture and corrected to constant moisture. R. J. R document. 508241874.
- Samejima, T., Soh, Y. & Yano, T. (1978) Moisture sorption isotherms of various tobaccos. *Agric. Biol. Chem.* 42: 2285-2290.
- Walton, L. R. & Henson, W. H. (1970) Moisture sorption of burley tobacco leaf. *Trans. ASAE.* 13: 466-468.