# ニンニク球根の貯蔵・乾燥に関する研究

戸　次　英　二（弘前大学農学部教授）

## 緒　言

わが国のニンニク生産の現況は，1990年代に入り安価な中国産ニンニクが輸入されるようになって，国産品は品質で優るものの価格でたち打ちできない状況に陥り，栽培面積は減少の一途をたどっている。この緩和に少しでも役立てばと思い，生産コストの低減と品質の向上を目途に本研究を実施した。

現在，農家が一般的に行っている収穫直後の予措乾燥として，ニンニク球根を入れた網袋を棚にのせて収納庫内に配置し，一方から入気して他方へ排気する開放通気系の乾燥方法がとられている。夜間や降雨の低温高湿時にのみ球根温度の上昇と入気の除湿をバーナによる加温で行っている。乾燥の目標は水分重量減少率25%としているが，1回分の終了までに約1週間を要し，この間に電力と灯油のエネルギーを多量に消費する。

本研究の乾燥方法は省エネを目指した閉鎖循環気系の除湿である。すなわち，入気を遮断して除湿に要するエネルギーを省き，ニンニク球根から蒸発した水蒸気を除湿機で凝結するエネルギーのみとする除湿乾燥の省エネ効果については，穀物に多くの実験例を見受けるが，その他の農産物の予措乾燥に関しては数例[1~5]を見るのみである。

## 実験方法

1)　供試材料：1997年7月4日に青森県常盤村でニンニク球根（品種：福地ホワイト6片種）を収穫し，2時間後には弘前大学農学部の保蔵庫（恒温10℃）に収納した。1回の実験に使用する重量は10kgfで，順次行った8回の実験ごとに庫内から引き出して供試した。

2)　実験装置：閉鎖循環気系を形成する除湿乾燥装置を製作した。温湿度の調整にはユニット型恒温恒湿空気供給装置（タバイ，ASE-110）を用いた。以下恒温恒湿装置と略称する。これを断熱ボックスの乾燥室へ断熱ダクト（ガラスウール30mm厚）で**図1**のように連結した。恒温恒湿装置の内部には冷却器（2kW），加湿器（2kW），加熱ヒータ（3kW），送風フアン（0.2kW）が直列に配置され，凝縮器は循環気経路から絶縁された下部に設けられている。乾燥室は合板（12mm厚）で組まれ，外壁に断熱材（スタイロフォーム50mm厚），内壁に薄鋼板（0.5mm厚）を張った。内部には通風攪拌用の小形ファンを2個取り付けた。乾燥室内の通風量を調整するため，送・排風管の間にバイパスを設け，調整弁と軸流ファンを取り付けた。乾燥室内の任意の温度を恒温恒湿装置で制御するため，センサ部を乾燥室のヘッドスペースにそう入した。

3)　実験区の構成：**表1**に示す温度と湿度を組み合わせて8除湿乾燥区を構成し，これにcontrolとして自然乾燥の慣行区を加えた。除湿乾燥の風量比は全区とも0.48m³/min・kgfの共通とした。自然乾燥は屋外に降雨と直射日光を避けた屋根付きの金網箱を地上1mの位置に設け，内部に花茎を3束結わえた球根を懸垂させた。

4)　測定方法：各センサの取り付け位置は**図1**に示すとおりである。①風速：送風側が傍熱型

図1　実験装置と測定点

表1　温湿度による実験区の構成

| 湿度(%) ＼ 温度(℃) | 15 | 25 | 35 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| 30 | — | — | 2 | 1 |
| 45 | 7 | 5 | 3 | — |
| 60 | 8 | 6 | 4 | — |

サーミスタ（芝浦 PA2611），排風側が低温型熱線（日本科学工業 6144）の風速計，②静圧：乾燥室中央部でデジタル圧力計（コパル PG200），③温湿度：実験装置の周囲（チノー乾湿球温度発振器 R321），送・排風ダクト（同 R221-101），④球根温度：任意に選抜した球根3個の鱗茎内部（深さ10mm）にT型熱電体を埋め込んで固定，積載棚の上・中・下段に配置，⑤乾減重量と形状変化：図1の乾燥室底部にデジタル台秤（ザルトリウス I-1200S，感量0.1gf/秤量12100gf，s.d: 0.05gf）を設置。形状は特定球根6個を選抜し，ノギスで長径と短径を測定，⑥水分と硬度：花茎，盤茎，鱗茎の各2～3 gf を恒温器（タバイ PS11）で105℃—24h 法により絶乾，硬度は万能試験機（島津1M-100）に貫入ポンチを冶具として取り付け，貫入力を測定，⑦電力：三相電力計（日置 3184）で測定した。

## 熱収支と水収支に関する理論的解析

除湿乾燥の方法には**図2**のように開放通気系と閉鎖循環気系の2とおりがある。前者は入気を除湿の対象とし，排気には関与しない。したがって，被乾燥物量が多くて，大量の塵埃が排気に含まれる場合に適用される。大量の入気を所要の湿度まで除湿しようとするので，電力消費量が多くなる。後者は被乾燥物量が少なくて，乾燥速度が遅く，被乾燥物が排出する塵埃が少ない場合に適用される。周囲空気からの入気がないので，その除湿に要する電気消費量が省かれる。ニンニク球根のよ

図2　除湿乾燥方式

うに乾燥速度の極めて遅い被乾燥物は，循環気の塵埃含量も比較的少ないことから，後者が適している。収穫後の多水分籾のように，多量の被乾燥物とその水分蒸発量，それに多量の埃塵を排出する場合には前者が適している。

本実験装置は閉鎖循環気系であるから，周囲空気との対流はなく，熱授受の状況は**図3**に表すとおりとなる。乾燥室では熱供給を受けたニンニク球根からの水分蒸発に伴う熱収奪があり，排出熱量は恒温恒湿装置へ回帰される。この循環過程が乾燥終了まで繰り返される。

1)　乾燥室への送入熱量：恒温恒湿装置からの排出熱量でもあるから，循環気熱量$Q_{lr}$，加湿器からの放熱量$Q_{hu}$，冷却器の水分蒸発にともなう収奪熱量$Q_{Re}$，加熱機の加熱量$Q_a$，送風ファンからの放射熱量$Q_{F1}$，通風量調整の熱量$Q_R$により，

$$Q_l = Q_{lr} + Q_{hu} - Q_{Re} + Q_a + Q_{F1} - Q_R \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(1)$$

ここで，恒温恒湿装置内の$Q_{hu}$，$Q_{Re}$，$Q_a$は設定温湿度に対して加減され，$Q_{F1}$を加えて$Q_u$で一括して表すと，その熱量は次式でも求められる。

$$Q_u = G_o(h_i \cdot c_{pi} \cdot t_i - h_o \cdot c_{po} \cdot t_o) \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(2)$$

ここで$G_o$：循環風量（$m^3/h$）

$h_i, h_o$：送・排風の比重量（$kgf/m^3$）

$c_{pi}, c_{po}$：送・排風の比熱（$kJ/kgf \cdot °C$）

$t_i$：恒温恒湿装置からの排風温度

＝乾燥室への送風温度（°C）

図3　熱授受の状況説明図

$t_o$：乾燥室からの排風温度

＝恒温恒湿装置への回帰風温度（°C）

2)　熱損失：乾燥室の内面（内壁面積：1.9m²，天井面積：0.2m²）に張った薄鋼板（熱伝導率$\lambda_l$：168kJ/m・h・°C）と合板（$\lambda_c$：0.42kJ/m・h・°C）と外面を覆うスタイロフォーム（$\lambda_b$：0.084 kJ/m・h・°C）を貫流する熱量$Q_{pw}$，および送・排風ダクト（$\lambda_d$：0.086 kJ/m・h・°C，管長L：0.75m，外径$d_o$：0.105m，内径$d_i$：0.075m）からの貫流熱量$Q_{pdi}$と$Q_{pde}$とがある。後者は，

$$Q_{pdi\text{-}e} = 2\pi \cdot \lambda_d \cdot L(t_{i,o} - t_e)/\ln(d_o/d_i) \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(3)$$

ここで，$t_e$＝周囲温度（°C）

なお，底部からの貫流熱量は実験台が厚い天板上に置かれているため無視した。

3)　ファン発生熱量：乾燥室内に設けた2個の撹拌用ファンからの放熱量$Q_m$は，

$$Q_m = 3.6\sigma \cdot T_m{}^4 \cdot A_F \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(4)$$

ここで，$\sigma$：ステファン・ボルツマン定数

$5.67 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$

$A_F$：ファンの放熱面積（0.0157m²）

$T_m$：ファンの表面温度（K）

また，風量調整用バイパスに設けたファンからの発熱量$Q_F$は，

$$Q_F = 3612P \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(5)$$

ここで，$P = P_t \cdot G_R / 59976\eta_F$：ファン軸動力（kW）

$P_t$：風量調整用バイパスの全圧（159.7Pa）

$G_R$：同上の通風量（2.2m³/min，一定）

$\eta_F$：送風効率（*0.5）

4)　恒温恒湿装置への回帰熱量$Q_{lr}$：乾燥室からの排出熱量でもあるから，送風温度に対して球根から発生する呼吸熱量$Q_r$，水分蒸発で収奪される潜熱量$Q_L$，蒸発水分熱量$Q_{L,r}$，球根温度上昇

*日本冷凍協会，冷凍空調技術 p.167，1995より引用

熱量$Q_h$が関与する。本装置では温度測定に乾湿球温度計を用いているので，球根の水分蒸発に伴う潜熱量$Q_{w1,2}$とそれらの蒸発水分熱量$Q_{wr1,2}$も加わる。これらを一括して$Q_b$で表すと，

$$Q_b = Q_r - Q_L + Q_{Lr} - Q_h - Q_{w1} - Q_{w2} + Q_{Wr1} + Q_{wr2} \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(6)$$

これらに熱損失$\Sigma Q_p = Q_{pd1} + Q_{pde} + Q_{pw}$，ファン発生熱量$2Q_m + Q_F$，風量調整用バイパスの通風熱量$Q_R$，乾燥室からの排風用に設けた乾湿球温度計の湿球からの水分蒸発潜熱量$Q_{w3}$とその蒸発水分熱量$Q_{wr3}$が加減されて，恒温恒湿装置への回帰熱量$Q_{lr}$となる。すなわち，

$$Q_{lr} = Q_l \pm \Sigma Q_p + Q_b + 2Q_m - Q_{w3} + Q_{wr3} + Q_F + Q_R \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(7)$$

5)　熱収支式：以上を総括した閉鎖循環気系の熱収支式$\Sigma Q = 0$は，

$$Q_u + 2Q_m + Q_b + Q_F \pm \Sigma Q_p - Q_{w3} + Q_{wr3} = 0 \quad [\mathrm{kJ/h}] \cdots\cdots(8)$$

となる。

6)　水収支式：循環気に含まれる水蒸気とニンニク球根から蒸発する水蒸気の収支は，**図4**に示すとおりである。乾燥室への送風に含まれる水蒸気量$M_l$は恒温恒湿装置へ回帰する循環気に含まれる水蒸気量$M_{lr}$と蒸発器で凝結した水分量$M_c$，および風量調整用バイパスに流れた通風の水蒸気量$M_R$から，

$$M_l = M_{lr} - M_c - M_R \quad [\mathrm{kgf/h}] \cdots\cdots(9)$$

**図4　水分蒸発と凝結の状況説明図**

乾燥室のヘッドスペースと中央部では，乾湿球温度計の湿球から蒸発した水分$M_{w1,2}$と球根から蒸発した水分量$M_b$が加わる。また，排風に含まれる水蒸気量$M_o$に排風管内で乾湿球温度計の湿球から蒸発した水蒸気量$M_{w3}$が加わり，さらに風量調整用バイパスから流れてくる通風の水蒸気量$M_R$と合流して$M_{lr}$となり，恒温恒湿装置に回帰する。すなわち，

$$M_{lr} = M_l + M_{w1} + M_{w2} + M_b + M_{w3} + M_R \quad [\mathrm{kgf/h}] \cdots\cdots(10)$$

以上を総括して閉鎖循環気系の水収支式$\Sigma M = 0$は，

$$M_b + M_{w1} + M_{w2} + M_{w3} + M_C = 0 \quad [\mathrm{kgf/h}] \cdots\cdots(11)$$

となる。

## 実験結果と考察

### 1.　乾燥経過

1)　風速と風量比：各実験の平均風速およびその風量と風量比を**表2**に示す。送・排風量の差は僅少で，乾燥室からの漏出はなかった。

2)　静圧：35°C－60% r.h.の33Paが最大であった。これは$3.3 \times 10^{-1}$gf/cm$^2$に相当するから微小圧である。

3)　温湿度：送・排風と実験室内の温湿度経過を**図5a～h**に表す。温度はほぼ設定値どおりであったが，湿度は恒温恒湿装置に附属の乾湿球温度計の調整不足で，設定値と多少離れる場合もあった。しかし，全般に設定値にほぼ近似した湿度で経過した。

4)　球根温度：乾燥室内の球根積載棚の上・中・下段に配置した特定球根の温度経過は，平均値で**表3**に示すとおりであった。40°Cの場合は室温から立ち上り，送・排風温度に接近するまで約40時間を要した。全般の平均温度は設定温度にほぼ近く経過した。

表2　送風と排風の速度および風量，風量比

| 実験区 (℃-% r.h.) | | 送風速度 (m/s) | 送風量 ($m^3$/min) | 排風速度 (m/s) | 排風量 ($m^3$/min) | 風量比($m^3$/min・kgf) 初期→終期 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 30 | 4.4 | 4.66 | 4.2 | 4.50 | 0.44→0.60 |
| 35 | 30 | 4.3 | 4.62 | 4.2 | 4.45 | 0.44→0.56 |
| | 45 | 4.5 | 4.74 | 4.4 | 4.66 | 0.44→0.55 |
| | 60 | 4.4 | 4.72 | 4.3 | 4.62 | 0.44→0.54 |
| 25 | 45 | 4.4 | 4.66 | 4.4 | 4.64 | 0.44→0.53 |
| | 60 | 4.5 | 4.79 | 4.5 | 4.80 | 0.45→0.52 |
| 15 | 45 | 4.3 | 4.52 | 4.3 | 4.52 | 0.43→0.48 |
| | 60 | 4.3 | 4.56 | 4.3 | 4.61 | 0.43→0.46 |

図5　a～h 温湿度経過

表3　球根の平均温度

| 実験区 (℃-% r.h.) | | 温度(℃) 上段 | 中段 | 下段 | 平均 |
|---|---|---|---|---|---|
| 40 | 30 | 39.9 | 40.0 | 39.6 | 39.8 |
| 35 | 30 | 35.3 | 35.3 | 35.3 | 35.3 |
| | 45 | 35.0 | 35.1 | 35.2 | 35.1 |
| | 60 | 35.3 | 35.1 | 35.2 | 35.2 |
| 25 | 45 | 25.5 | 25.4 | 25.8 | 25.6 |
| | 60 | 25.5 | 25.5 | 25.6 | 25.5 |
| 15 | 45 | 15.5 | 15.6 | 15.5 | 15.5 |
| | 60 | 15.6 | 15.5 | 15.8 | 15.6 |

5)　形状変化：各実験の168h 経過後の球根縮小率は35℃－30% r.h.で重量減少率25%に対し3.2%，40℃－30% r.h.で同じく26.5%に対し9%であった。個体差はあるが，設定温度の高い方が縮小率は大きくなった。

6)　乾燥前後の部位別水分と盤茎硬度：重量減少率が27.1%に達した40℃－30% r.h の実験では，乾燥の初期から終期に至る水分は花茎で85.9→49.4%，外皮で76.1→40.6%，盤茎で77.1→59.2%，鱗茎で64.8→64.0%と減少した。盤茎硬度も貫入力で345N→364Nへ高まり，硬質化した。

7)　乾燥速度：重量減少率の経過を**図6**に表す。通風の温度が高く，湿度が低いほど重量減少率が大きくなった。本実験で限定した乾燥時間の168h 内に重量減少率が25%を超えたのは40℃－30% r.h.の実験のみで，137h（5.7日）を要した。その他の実験では所定の乾燥時間内に25%へ達しなかったが，以後の貯蔵乾燥で安全に乾燥を進めることができた。

図6　重量減少率の経過

屋外の自然乾燥において，花茎を約30cm に長くした球根では重量減少率が25%に達するまで240 h（10日）と300 h（12.5日），花茎を除湿乾燥の場合と同様に数 cm に短くした球根では1084 h（45日）を経過しても，なお24%にとどまった。花茎を長くした球根は花茎からの蒸発水分量が多いため，あたかも重量減少速度が早いように見受けられるが，貯蔵中に水分過多であると腐敗し易い盤茎部は依然として高水分であり，軟弱状態にあった。花茎を短小にした球根は重量減少速度が遅いように見受けられるが，盤茎部の乾燥が同時に進行して硬質化した。乾燥経過中に裂皮を発生しない限り，花茎を短小にした方がよいことが分った。

この自然乾燥を Control に，除湿乾燥の各実験と比較すると，**図7**のとおり初期の立ち上がりが緩く，15℃－45%r.h.と25%℃－60% r.h.の実験の中間に位置する。しかし，本実験で限定した乾燥時間168h を過ぎても平均湿度は27℃－70% r.h.付近にあって，重量減少速度を比較的低下させずに経過した。よって，168h 以後は25℃－60% r.h.と25℃－45% r.h.の中間を推移するのではないかと予測される。自然乾燥の場合は大気の温湿度の年次変動があり，重量減少速度も不安定であるが，閉鎖循環気系の除湿乾燥では入気の影響を受けないので，安定した乾燥速度が得られる。開放通気系の除湿乾燥では除湿機を常時運転せず，外気湿度60%を境に on-off 制御させる経済的運転が望まれる。

乾燥の開始時と終了時の重量差から算出した重量減少率と毎時平均乾減水分量，重量減少速度を**表4**に示す。重量減少速度は40℃－30% r.h.の実験において，最も早い0.16%・/h で自然乾燥の2倍である。収穫直後の高水分の花茎と盤茎を乾燥する速度が遅ければ，この部分にかびの繁殖を起生し，品質劣化の要因になるので，乾燥初期の重

図 7　自然乾燥と除湿乾燥の重量減少率の比較

表 4　重量減少速度と乾減水分量

| 実験区 (℃-% r.h.) | | 球根重量(kgf) 初期→終期 | 減少率(%) | 重量減少速度 (%/h) | 毎時平均乾減水分量(kgf/h) |
|---|---|---|---|---|---|
| 自然乾燥 | | 0.60→0.52 | 13.0 | 0.08 | 0.0005 |
| 40 | 30 | 10.67→7.78 | 27.1 | 0.16 | 0.017 |
| 35 | 30 | 10.60→8.18 | 22.8 | 0.14 | 0.014 |
| | 45 | 10.63→8.52 | 19.8 | 0.12 | 0.013 |
| | 60 | 10.68→8.70 | 18.5 | 0.11 | 0.012 |
| 25 | 45 | 10.65→8.84 | 17.0 | 0.10 | 0.011 |
| | 60 | 10.60→9.18 | 13.4 | 0.08 | 0.009 |
| 15 | 45 | 10.52→9.34 | 11.2 | 0.07 | 0.007 |
| | 60 | 10.57→9.83 | 7.0 | 0.04 | 0.004 |

量減少速度が品質保全上重要である。本実験で最も劣る乾燥条件の15%－60% r.h.で重量減少速度は0.04%/h と低かったが，外見上の異常は見られなかった。

2.　熱収支と水収支に関する理論式の検証

1)　水収支式：乾燥経過の安定した時刻（40℃－30% r.h.：42h，35℃－30% r.h.：42h，同45% r.h.：42h，同60% r.h.：44h，25℃－30% r.h.：44h，同45% r.h.：41h，同60% r.h.：44h，15℃－45% r.h.：35h，同60% r.h.：40h）における球根からの乾減水分量と除湿機による凝結水量を求め，水分の収入量と支出量を試算した。両者の差は小さく，均衡式 $\Sigma M = 0$ に近似した。よって前掲の式(1)の水収支式は適当と判断された。

2)　熱収支式：上記の水収支を試算した同時刻に，式(2)～(5)で算出した各熱量を用いて総収入熱量と総支出熱量を求めた。両者の差は小さく，均衡式 $\Sigma Q = 0$ に近似した。よって，前掲の式(8)の熱収支式は適当と判断された。総収入熱量を100%とおいて，収支の各算出熱量の占める割合を求め，**図 8a～h** に熱収支図として表す。収入側は設定温度が25℃以下になると，温度の低下につれて貫流熱量 $\Sigma Q_p$ が収入に加わるようになった。支出側は設定温度35℃で加熱量 $Q_H$ が出現し，温度の低下につれてしだいに大きくなった。また，球根からの水分蒸発潜熱量 $Q_L$ がしだいに減少した。

3.　所要エネルギー

重量減少率が10%付近で，温湿度はほぼ一定の傾向を示すようになった。その時刻（40℃－30%

図8　熱収支図

r.h.：19h，35℃−30% r.h.：24h，同45% r.h.41 h，同60% r.h.：48h，25℃−45% r.h.：52h，同60% r.h.：87h，15℃−45% r.h.：134h，同60% r.h.：168h）に熱効率 $\eta$ を試算した。上記の設定温湿度順に，$\eta$ は36.2，36.0，25.8，26.1，21.7，16.1，8.0，4.9%であった。$\eta$ は総収入熱量に対し蒸発潜熱量$Q_L$と球根温度上昇熱量$Q_h$の割合であるから，温度が低く湿度が高い設定ほど水分蒸発潜熱量が減少し，$\eta$を低下させた。40℃−30% r.h.における重量減少率27.1%までのエネルギ効率（水分1kgfの除去に要した消費電力量のエネルギ換算値）は525.1MJ/kgfであった。被乾燥物からの水分蒸発量に対する恒温恒湿装置の凝結能力を過大とした本実験装置であるから，籾の3 MJ/kgf程度と比較して異常に大きな数値となっている。実用に際しては水分蒸発に見合う凝結能力が設定されるので，もっと低い数値となる。

## 摘　要

収穫後のニンニク球根を貯蔵に先立ち予措的に乾燥するため，除湿機と断熱ボックスの乾燥室を送・排風管で結ぶ閉鎖循環気系で，乾燥室内の通風量を初期に0.44m³/min・kgf，静圧を最大で33 Pa，恒温恒湿を15，25，35，40℃と30，45，60 % r.h.で組み合わせ，乾燥時間を168hに限定して除湿乾燥を試みた。

1)　いずれの温湿度の組み合わせでも品質を損なうことなく，除湿乾燥を進めることができた。最も良好な乾燥条件の40℃−30% r.h.では重量減少率が27.1%に達し，乾燥の一般的な目安としている重量減少率25%を137h（5.4日）で超えた。168hの平均重量減少速度は0.16%/hであった。それ以外の条件では重量減少率の最高が22.8%であった。

2)　Controlとして屋外に設置した自然乾燥では，1080h（45日）を経過して23.2%の重量減少率で，0.02%/hの減少速度であった。この間の温湿度は平均で27℃−70% r.h.にあり，168hまでの重量減少速度は0.08%/hであったから，本実験の25℃−60% r.h.の条件に相当する。

3)　球根の温度が通風温度にほぼ等しく経過したなかで，40℃−30% r.h.の実験では，乾燥の初期から終期に至る水分が花茎で85.9→49.4%，外皮で76.1→40.6%，盤茎で77.1→59.2%，鱗茎で64.8→64.0%と減少した。食用となる鱗茎はほとんど乾減せず，他の部位が乾燥した。かびによる汚染と腐敗のし易い球根底部の盤茎硬度も高まって硬質化した。

4)　収穫後168h（7日）に，最も劣る乾燥条件の15℃−60% r.h.で重量減少率が0.04%/hとなり，自然乾燥の0.08%/hより低かった。しかし，盤茎にかびの繁殖や腐敗の兆候が見られなかった。このように低速で乾燥しながら貯蔵を兼ねるか，あるいは，40℃−30% r.h.のように急速で乾燥した後に別の貯蔵庫へ移すかは，当該農家の対象面積あるいは収穫量，乾燥装置の能力，市場への出荷時期等を勘案して選択されることになる。

5)　総収入熱量に対して水分蒸発潜熱量と球根加熱量の割合で表す熱効率は，40℃－30% r.h.で36.2%，35℃－30% r.h.で36.0%，同45% r.h.で25.8%，同60% r.h.で26.1%，25℃－45% r.h.で21.7%，同60% r.h.で16.1%，15℃－45% r.h.で8.0%，同60% r.h.で4.9%であった。温度が低く湿度の高い組み合わせほど蒸発潜熱量が減少して低率となった。

6)　実験装置の熱授受の関係は一般的な閉鎖循環気系の装置と同様であるから，本実験の測定値による試算で実証された水収支式と熱収支式および熱収支図は，エネルギ節減のための装置の診断と改良等に参考になるものと思う。

**文　献**

1)　塩山房男，黒崎俊明，鈴木正行，高橋憲一，倉井耕一，吉沢崇：こんにゃく種球の除湿器利用無加温貯蔵法に関する研究，栃木農研報37：25-34，1990

2)　田原迫昭爾，守田和夫，魏長楽：常温低湿空気による農産物の乾燥および品質評価，鹿大農報40：243-250，1990

3)　田原迫昭爾，守田和夫，魏長楽，林純男：ビニールハウス内における切り干し大根の除湿乾燥(1)，農業施設21(2)：95-101，1990

4)　田原迫昭爾，守田和夫，魏長楽，林純男：ビニールハウス内における切り干し大根の除湿乾燥(2)，農業施設21(3)：183-191，1991

5)　鈴木敏広，本杉正義，田村政志：かつお節培乾工程へのヒートポンプの応用，食化工43(8)：923-929，1996

# Studies on Dry•Storage of Garlic Bulbs

Eiji Bekki (Fuculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University)

Under such condition that garlic bulbs (its foliage leaves, internal stem and basal plate except edible cloves) immediately after harvest are not dried enough, it is feared that molds attached to them will propagate and then bring about rotteness. Therefore, drying is indispensable preparatory to storage. At that time it is required to treat them inexpensively as possible without deterioration in quality. As a characteristic of garlic bulbs much moisture is contained compared with cereal crops, and the rate of moisture reduction in drying is fairly slow, so that energy consumption required is higher. Therefore, this experiment was carried out to find out the drying characteristics and the properties of moisture and heat balance in the dehumidified air drying, which makes possible the wide coverage from heated air drying with high-rate moisture reduction to dry•storage with low-late moisture reduction. The experimental results proved that dehumidification drying is effective for drying of garlic balbs in storage as shown in a heading above.

There are two ways of dehumidification drying: an open air flow system, and a closed air recirculation system. The farmers cultivating garlic have generally adopted the former using heated air. However, dehumidification drying is possible with the latter, which excludes the effect of inlet air. Though a constant temperature and humidity air supplier used for this experimental apparatus as a dehumidifier was continuously run, for practical pourposes, it may be intermittently operated with the expectation of keeping running costs as low as possible. Accordingly, such a controlled method that would give a set value against an arbitrary temperature and humidity of recirculated air should be taken. The apparatus was a closed air recirculation system, which combined a dehumidifier and a drying chamber made of an adiabatic box with two adiabatic incoming (inflow) and outgoing (outflow) air pipes. It was conditioned such that air volume was 0.44m$^3$/min•kgf at the start of each experiment and maximum static pressure inside drying chamber was 33Pa during the experiment. The experiments of dehumidified air drying were carried out by combining constant temperature values of 15, 25, 35 and 40°C and constant humidity values of 30, 45, and 60%, and limiting the drying time to 168 hours(7 days) equally. The results obtained were summarized as follows:

1. At 40°C-30%r.h., the best drying condition in this experiment, the percentage of weight reduction attained was 27.1% for 168 hours. It was 25% over the standard regulation of drying for 137 hours (5.7 days). Average rate of weight reduction was 0.16%/

h in 168h. The 0.04%/h rate of weight reduction at 15°C-60%r.h. was the worst drying condition in this experiment. However, signs of mold propagation, and deterioration at the basal plate could be found nowhere. Decision on whether garlic is transferred to another storehouse after being dried with high rate as in the condition of 40°C-30%r.h. or remains drying in-store with a slow rate as obtained in 15°C-60%r.h., should take into consideration the storage area or yield of a farmer, capacity of drying unit and the time of forwarding to the market.

2. With natural drying set outdoors as the control, the percentage of weight reduction was 23.2% after 1,080 hours (45 days) elapsed, and the corresponding rate was as low as 0.02%/h. The temperature and humidity during this drying averaged 27°C-70%r.h. and the rate of weight reduction was 0.08%/h in 168h, so the condition of natural drying corresponded to the constant temperature and humidity condition of 25°C-60%r.h. in dehumidification drying.

3. Bulb temperatures progressed nearly equal to air flow temperature, and the moisture content from the start to the end of drying decreased from 85.9 to 49.4% in the internal stem, 76.1 to 40.6% in the foliage leaves, 77.1 to 59.2% in the basal plate, and 64.8 to 64.0% in the edible cloves at 40°C-30%r.h. Edible bulb was less dried than the other parts. The hardness of basal plate, which is the easiest to deteriorate by mold growth in a wet garlic bulb, was increased by reducing the moisture.

4. The thermal efficiency shown by the ratio on latent heat for evarporating the moisture from garlic bulbs and heat for raising bulb temperature as outgoing heat to the total amount of incoming heat was 36.2% at 40°C-30%r.h., 36.0% at 35°C-30%r.h., 25.8% at 35°C-45%r.h., 26.1% at 35°C-60%r.h., 21.7% at 25°C-45%r.h., 16.1% at 25°C-60%r.h., 8.0% at 15°C-45%r.h. and 4.9% at 15°C-60%r.h., respectively. Under such a condition of lower temperature amd higher humidity combination, the thermal efficiency resulted in a low ratio due to decrease of latent heat for evaporating moisture.

5. The mutual relationship of delivering and receiving heat in the apparatus is similar to general closed recirculating air system, so the heat and moisture balance equation were verified by calculation in trial with the measured values and by drawing the figures clearly showing the conditon of incoming and outgoing heat. These are probably useful when examining and improving the apparatus for energy conservation.