

専門科目〔農産食料流通工学〕

下記の6問の中から4問選択して解答せよ。(25点×4問=100点)

1. 水蒸気 5 mol を定容下で 373.15 K から 423.15 K まで加熱する。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、定容モル熱容量 $c_v = 26 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ とする。

(1) 内部エネルギー変化 ΔU を求めよ。

(2) 加えられた熱量 Q を求めよ。

2. 内半径 R_1 、外半径 R_2 の中空の球状壁を考える。球状壁の材質は均一で熱伝導率は λ である。内壁の温度を θ_1 、外壁の温度を θ_2 ($\theta_1 > \theta_2$)、球状壁を半径方向に流れる熱量を Q とするとき、以下の問いに答えよ。

(1) 球状壁を通して流れる熱量 Q を求めよ。

(2) 球状壁の半径 R ($R_1 < R < R_2$) の位置における温度 θ_R は次式で表されることを示せ。

$$\frac{\theta_R - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{1/R_1 - 1/R}{1/R_1 - 1/R_2}$$

3. 農産食料工学における次の用語について簡単に説明せよ。

(1) クライマクテリック型果実

(2) 真空冷却予冷

(3) ライスセンタ

(4) 平衡含水率

(5) 嫌気呼吸

4. 収穫後のコメの処理工程と各工程で留意すべき点について述べよ。

5. 農産施設における空気調和の意義と湿り空気線図の役割について述べよ。

6. ストール式牛舎とフリーストール式牛舎についてそれぞれの特徴と違いについて述べよ。

解答例

1. 水蒸気 5 mol を定容下で 373.15 K から 423.15 K まで加熱する。このとき、以下の問いに答えよ。ただし、定量モル熱容量 $c_v = 26 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ とする。

- (1) 内部エネルギー変化 ΔU を求めよ。

$$\Delta U = n \int_{T_1}^{T_2} c_v dT = nc_v(T_2 - T_1) = 5 \times 26 \times (423.15 - 373.15) = 6,500 \text{ J} = 6.5 \text{ kJ}$$

- (2) 加えられた熱量 Q を求めよ。

定容下では容積変化による仕事は発生しないため、 $Q = \Delta U$ が成立する。

このため、 $\Delta U = 6.5 \text{ kJ}$ となる。

2. 内半径 R_1 、外半径 R_2 の中空の球状壁を考える。球壁の材質は均一で熱伝導率は λ である。内壁の温度を θ_1 、外壁の温度を θ_2 ($\theta_1 > \theta_2$)、球壁を半径方向に流れる熱量を Q とするとき、以下の問いに答えよ。

- (1) 球状壁を通して流れる熱量 Q を求めよ。

半径 R 、 $R + dR$ の等温球面で囲まれた厚さ dR の球壁を流れる熱量 Q は

$$Q = -\lambda A \frac{d\theta}{dR} = -\lambda(4\pi R^2) \frac{d\theta}{dR}$$

で表される。よって、

$$d\theta = -\frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{dR}{R^2}$$

これを積分すると、 C を積分定数として、

$$\theta = \frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{1}{R} + C$$

を得る。境界条件より、

$$\theta_1 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{1}{R_1} + C, \quad \theta_2 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \frac{1}{R_2} + C$$

$$\therefore \theta_1 - \theta_2 = \frac{Q}{4\pi\lambda} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\therefore Q = \frac{4\pi\lambda(\theta_1 - \theta_2)}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$

- (2) 球状壁の半径 R_x ($R_1 < R < R_2$) の位置における温度 θ_R は次式で表されることを示せ。

$$\frac{\theta_R - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{1/R_1 - 1/R}{1/R_1 - 1/R_2}$$

半径 R_1 , R 間でも熱量 Q は一定のはずである。

$$Q = \frac{4\pi\lambda(\theta_1 - \theta_R)}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R}} = \frac{4\pi\lambda(\theta_1 - \theta_2)}{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}}$$

これを整理して、次式を得る。 $\frac{\theta_R - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1} = \frac{1/R_1 - 1/R}{1/R_1 - 1/R_2}$

3. 農産食料工学における次の用語について簡単に説明せよ。

(1) クライマクテリック型果実

果実の成熟過程において、呼吸量およびエチレン生成量が急激に増加する「クライマクテリック・ライズ」と呼ばれる現象を示す果実である。エチレンは植物ホルモンの一種であり、果実の軟化、糖度の上昇、色の変化、芳香の生成などを促進する。クライマクテリック型果実は収穫後も追熟が可能であり、流通・貯蔵中に品質が変化するため、エチレン濃度や温湿度の管理が極めて重要である。代表例としてバナナ、リンゴ、モモ、トマト、アボカドなどが挙げられる。

(2) 真空冷却予冷

収穫直後の青果物を真空状態に置き、内部の水分を蒸発させることで気化熱を利用して急速に冷却する予冷技術である。真空下では水の沸点が低下するため、低温での蒸発が可能となり、短時間での冷却が実現する。特に葉菜類のように表面積が大きく、呼吸速度が高い作物に適しており、鮮度保持や腐敗防止に効果的である。ただし、果菜類や根菜類など内部まで冷却しにくい作物には適さない場合がある。

(3) ライスセンタ

収穫された籾を受け入れ、乾燥・粳すり・選別・出荷までを一貫して行う共同乾燥調製施設である。個々の農家が乾燥機や調製機器を保有せずに済むため、作業の効率化、品質の均一化、コスト削減が可能となる。近年では ICT や IoT を活用したスマート農業の中核施設としての役割も担っており、地域農業の生産性向上と経営安定化に寄与している。カントリーエレベーターと異なり、貯蔵機能を持たないことが多い。

(4) 平衡含水率

農産物が特定の温度および相対湿度の環境下で吸湿も乾燥もしなくなる時の含水率である。これは乾燥設計や貯蔵安定性評価において重要な指標であり、作物の種類、温度、湿度によって異なる。例えば、粳や玄米では 20～30℃、相対湿度 60～70% の環境下での平衡含水率が設計の目安となる。乾燥過程の終点やカビ発生リスクの評価、乾燥シミュレーションの境界条件設定にも用いられる。

(5) 嫌気呼吸

通常、農産物は収穫後も呼吸を続けており、酸素を用いた好気呼吸によって糖を分解し、エネルギー (ATP) を得ている。しかし、包装密封や過密な積載、温度管理の不備などにより酸素供給が不十分になると、嫌气的条件下に置かれ、嫌気呼吸が誘導される。嫌気呼吸では、糖が酸素の代わりに内部の酵素系によって分解され、エタノール

ールや乳酸、二酸化炭素などの副産物が生成される。これにより、農産物の内部 pH が低下し、細胞膜が損傷を受け、組織の変色、異臭の発生、食味の低下など品質劣化が進行する。また、エタノールの蓄積はアルコール臭の原因となり、商品価値を著しく損なう。

4. 収穫後のコメの処理工程と各工程で留意すべき点について述べよ。

収穫後のコメの処理工程は以下のように分類され、それぞれ品質を保持するために注意が払われる。

(1) 乾燥工程

まず、一次乾燥（予備乾燥）は収穫した籾を遠赤外線乾燥機やバッチ式乾燥機などで水分約 18～20%程度まで下げる工程である。高温短時間乾燥は効率的だが、胴割れ米や品質劣化のリスクがあるため、乾燥温度（40℃以下）と風量の管理が重要である。つぎに、二次乾燥（仕上げ乾燥）では、一次乾燥後の籾をさらに 15%以下（通常は 14～15%）まで乾燥させ、長期貯蔵に適した水分状態に仕上げる工程である。テンパリング乾燥を適切に行い、水分ムラや過乾燥の防止に留意する。

(2) 籾すり（脱ふ）工程

乾燥後の籾から籾殻を除去し、玄米を得る工程である。籾すり機のロール間隔や風量調整が不適切だと、碎米や未脱ふ米の発生につながるため、機械調整と定期点検が不可欠である。

(3) 選別・調製工程

玄米を比重選別機や色彩選別機などで選別し、未熟粒・異物・着色粒などを除去する工程である。等級格付けや出荷品質の確保に直結するため、精度の高い選別と異物管理が求められる。

(4) 貯蔵・出荷工程

調製された玄米は、低温貯蔵庫（13～15℃、湿度 70%以下）にて保管される。害虫・カビの発生防止のため、定期的な温湿度管理と防除対策が必要である。出荷時には品質検査・異物確認・適正表示を行い、トレーサビリティの確保も重要である。

以上のように、収穫後のコメ処理は品質保持・安全性・流通適性を確保するために、各工程での物理的・生理的 특성 の理解と適切な管理が求められる。

5. 農産施設における空気調和の意義と湿り空気線図の役割について述べよ。

農産施設における空気調和の意義は、農産物の品質保持と生理的安定性を確保するために、温度・湿度・気流などの空気環境を制御することである。たとえば、青果物の貯蔵施設では、呼吸速度や水分蒸発を抑えるために低温の環境が望ましく、これにより腐敗や変質を防ぐことができる。また、空気調和は農産物の呼吸に関与する空気中のガス組成（酸素、二酸化炭素、窒素、水蒸気）の管理も対象となり、たとえば酸素濃度を低下させることで呼吸抑制や熟成遅延を図る CA (Controlled Atmosphere)

貯蔵などの高度な技術も含まれる。このように、空気調和は、農産物の生理特性に応じた環境制御を行うための基盤技術であり、エネルギー効率や衛生管理の観点からも重要である。

湿り空気線図は、湿り空気の状態（乾球温度、湿球温度、相対湿度、絶対湿度、露点温度、エンタルピーなど）を視覚的に表現した図表である。空気調和設計においては、加熱・冷却・加湿・除湿などの空気処理プロセスを線図上で解析することで、必要な空気条件を定量的に把握できる。たとえば、乾燥機の入口と出口の空気状態を線で結ぶことで、処理空気の変化を視覚的に理解できる。このように、湿り空気線図は農産施設における空気調和の設計・運転管理に不可欠な役割を担う。

6. ストール式牛舎とフリーストール式牛舎についてそれぞれの特徴と違いについて述べよ。

ストール式牛舎（繋ぎ飼い方式）は、牛を個別のストール（仕切られた区画）に繋いで飼養する方式である。各牛は固定された位置で給餌・搾乳・排泄を行うため、個体ごとの健康状態や摂餌状況の把握が容易であり、疾病の早期発見や管理がしやすいという利点がある。一方で、牛の行動が制限されることによるストレスの増加や、搾乳や清掃作業の労力が大きいといった課題がある。また、多頭化や機械化には不向きであり、省力化や効率化の面では限界がある。

フリーストール式牛舎は、牛を牛舎内で自由に歩かせる放し飼い方式であり、寝床として個別のストール（自由に出入り可能な区画）を設ける構造である。牛は自らの意思で採食、飲水、休息、排泄を行うことができ、行動の自由度が高くストレスが少ないため、アニマルウェルフェアの観点からも注目される。また、搾乳パーラーや自動給餌装置、ふん尿処理装置との連携し、大規模経営や省力化に適している。ただし、個体管理が難しく、疾病の早期発見が遅れる可能性がある点が課題である。

両者の主な違いは、牛の拘束の有無と管理方式の柔軟性にある。ストール式は個体管理重視・小規模向き、フリーストール式は行動自由度と省力化重視・大規模向きという特徴を持つ。施設設計や経営規模、労働力の状況に応じて適切な方式を選択することが求められる。

出題意図

- 問 1 農産食料流通工学分野で研究するために必要な基礎的な熱力学の知識を問う。
- 問 2 農産食料流通工学分野で研究するために必要な基礎的な熱工学の知識を問う。
- 問 3 農産食料流通工学分野で研究するために必要な専門的な農産食料プロセスの知識と簡潔な表現力を問う。
- 問 4 農産食料流通工学分野で研究するために必要な専門的な農産食料プロセスの知識を問う。
- 問 5 農産食料流通工学分野で研究するために必要な専門的な農産施設における空気調和の知識を問う。
- 問 6 農産食料流通工学分野で研究するために必要な専門的な農産施設における牛舎の知識を問う。