

暑熱環境下等におけるウインドレス豚舎の有効性と飼料給与方法の検証

劔持麻衣、笹木俊¹⁾、菅沼京子²⁾、高橋一郎³⁾、野澤久夫

1)現 畜産振興課、2)現 那須農業振興事務所、3)現 県央家畜衛生保健所

要 約

ウインドレス豚舎の有効性を検証するため、ウインドレス豚舎（試験区）及び開放豚舎（対照区）において肥育試験を行った。試験区での飼養は、夏季、冬季ともに対照区と同等の肥育成績、肉質が得られることが明らかとなった。夏季の高温期間においては、試験区の肥育去勢豚が、対照区の肥育去勢豚と比較して日増体量が高い時期があり、性により試験区の効果が異なる可能性があると考えられた。一方、冬季の血液生化学検査結果（T-CHO 及び IP）において、試験区が対照区と比較して低い結果となり、自然光の影響が考えられた。

また、ウインドレス豚舎におけるウェットフィーディングの有効性を検証するため、ドライフィーディングとの比較を行った。給与方法の違いによる肥育成績の差は見られなかったが、試験区で水消費量が少なかったことから、ウェットフィーディングは、ウインドレス豚舎における有効な飼料給与方法である可能性が示唆された。

目 的

近年、養豚経営においては、地球温暖化による気候変動の影響により、特に暑熱環境下の肥育豚の飼料摂取量が低下し、増体の遅延や生産性が低下するとともに、繁殖面においても離乳後の受胎成績や哺乳子豚・育成子豚の発育等に影響を及ぼしている。

また、給与飼料を配合飼料に依存している養豚経営では、飼料要求率の改善が重要であるが、現在普及が進んでいるウインドレス豚舎では、飼料の粒度が細かすぎるとダストが発生し、豚舎内環境が悪化する問題点もあり、暑熱環境等を制御した上での効率的で経済的な飼養管理技術の確立が求められている。

そこで、暑熱等に対応できるウインドレス豚舎の有効性を検証するとともに、ウインドレス豚舎における適切な飼料給与方法について肥育試験を実施した。

試験 I 環境変動下でのウインドレス豚舎の有効性の検証

材料及び方法

1 供試豚および試験区分

供試豚は、体重約 55～70 kg の LWD（3 元交雑）種肥育豚とし、夏季 2 回（平成 29（2017）年 7 月 31 日～9 月、平成 30（2018）年 7 月 23 日～9 月 18 日）及び冬季 1 回（平成 29（2017）年 12 月 18 日～2 月）飼養試験を実施した。供試豚の体重が 105～115 kg で出荷・と畜とした。

試験区を表 1 に示した。開放豚舎で飼養する対照区に対し、ウインドレス豚舎で飼養する試験区を設定し、各区に 12 頭又は 6 頭ずつ配置した。

表 1 供試豚の配置

		試験区分	雌	去勢	計
夏 季	2017年度 (母豚 4 頭由来)	対照区	6	6	12
		試験区	6	6	12
	2018年度 (同一母豚由来)	対照区	3	3	6
		試験区	3	3	6
冬 季	2017年度 (母豚 4 頭由来)	対照区	6	6	12
		試験区	6	6	12

2 飼養管理方法

飼養試験は、栃木県畜産酪農研究センター（以下、センター）で実施した。試験区に供試したセンターのウインドレス豚舎は、イワタニ・ケンボロー株式会社の換気システムが装備されている。外壁面に排気ファンを設置した陰圧方式で、クーリングパットを介して入気口から入った外気は天井裏を通り、インレットから豚舎内に取り込まれる構造である。換気扇は、換気能力 63～151 m³/分の換気扇が計 7 基設置され、併せて 807 m³/分の能力となっている。換気量の調整は、作動換気扇の数の増減により行われ、豚舎内に設置した温度センサーにより、舎内の設定温度（夏季 22～23 °C、冬季 13°C）に応じて自動調整ができるようになっている。肥育豚舎の最大収容頭数は 108 頭で、肥育豚 1 頭あたり 7.47 m³/分となり、暑熱期であっても十分な換気量を確保できる。試験期間中は、最大収容頭数以下での飼養であったため、暑熱期であっても十分な換気がなされている。各豚舎の点灯管理はセンター職員が行い、点灯時間はおおむね 8 時 45 分～16 時 30 分とし、対照区は開放豚舎のため自然光を利用した。

供試豚の収容豚房の大きさ・床構造については、対照区は、4.8×2.1 m (10.08 m²)・全面コンクリートスノコ、試験区は、2.4×2.1 m (5.04 m²)・全面コンクリートスノコであり、両区とも1豚房当たり3頭ずつ収容した。給与飼料は、市販の肥育後期飼料 (CP14.0%以上、TDN77.0%以上) を不断給餌とし、飲水は自由とした。

3 調査項目

飼養成績 (体重、日増体量、飼料摂取量及び飼料要求率)、枝肉成績 (枝肉重量、枝肉歩留、背脂肪厚及び上物率)、胸最長筋の肉質 (ロース芯面積、pH、ドリップロス、加熱損失、肉色、脂肪色 (背脂肪) 及びテクスチャー)、外気温 (2017年夏季試験・冬季試験のみ)、舎内温湿度・暑さ指数 (2018年夏季試験のみ。AD-5696 温湿度 SD データロガー (株式会社エー・アンド・デイ、東京)) 及びバイタルサイン [直腸温、心拍数及び呼吸数]・血液性状 (2017年夏季試験・冬季試験のみ。バイタルサインは週2回10時頃に実施、血液性状は試験開始時・中間・終了時実施。) とした。暑さ指数 (以下、WBGT (湿球黒球温度)) とは、熱中症を予防することを目的として人体と外気との熱のやりとり (熱収支) に着目した指標で、①湿度、②日射・輻射など周辺の熱環境、③気温の3つを取り入れた指標で、屋内において WBGT (°C) = 0.7×湿球温度 + 0.3×黒球温度で算出される。今回の飼養試験は、日射の無い舎内環境であることから、黒球温度と乾球温度が同等と見なすことができることから、当該機種により、舎内温度・湿度及び WBGT を測定した。

胸最長筋の肉質分析における供試肉 (2017年夏季:n=4 (両区とも去勢4頭)、2017年冬季:n=4 (両区とも去勢2頭、雌2頭)、2018年夏季:n=3 (両区とも去勢3頭)) のサンプリングは以下のとおり実施した。県内と畜場で供試豚をと畜した翌日、専門業者が枝肉 (冷と体) からロース部分肉を切り出して真空包装した後、一晚冷蔵庫で保管したものを、センター職員がセンター分析室まで運び、2°Cに設定した冷蔵庫にて3日間保存した。なお、2017年夏季試験については、と畜後一旦冷凍した豚肉を用いて肉質分析を行った。

豚肉のロース芯面積は、デジタル画像処理し変換した PDF より算出し、pH は、pH メーター (Seven CompactTM pH meter S220、メトラー・トレド社、東京) の電極 (pH electrode InLab Solids Pro-ISM、メトラー・トレド社、東京) を胸最長筋に挿入して測定した。ドリップロスは、胸最長筋を縦4 cm×横4 cm×厚さ1 cmの大きさに整形し、濾紙 (No. 2) 2枚を敷いたシャーレの上に置き、4°Cに設定した冷蔵庫内で24時間保管した後に重量を測定し、保管前後の重量から水分損失量を割合で算出した。

加熱損失は、4 cm角の大きさに整形した胸最長筋をポリエチレン製の袋に入れ、70°Cに設定したスチームコンベクションオーブン (MIC-6SA3、ホシザキ株式会社、愛知) で60分間加熱した後、流水で30分間冷却してから重量を測定し、加熱前後の重量から水分損失量を割合で算出した。肉色及び脂肪色は、L* (明度)、a* (赤色度)、b* (黄色度) を色彩色差計 (CR-400、コニカミノルタジャパン株式会社、東京) で測定した。また、テクスチャーは、加熱損失を測定した後のサンプルを1.5 cm角の大きさに整形し、前歯の形をしたアダプター (歯形(A)、株式会社サン科学、東京) を装着したレオメーター (CR-100、株式会社サン科学、東京) で測定を行い、付属のデータ解析ソフト (Rheo Data Analyzer PRO) でテクスチャー (硬さ1 (一噛み目に必要な力に相当)、硬さ2 (二噛み目に必要な力に相当)、もろさ、弾力性、凝集性及びそしゃく性) を解析した。なお、アダプターのサンプルへの進入設定は、回数2回、進入速度60 mm/min、進入距離10.5 mm (2017年冬季試験においては9 mm) とした。

血液生化学検査については、大城ら (2014)¹⁾ の報告を参考に、栄養状態の評価に関わる項目 (グルコース (Glu)、総蛋白量 (TP)、アルブミン (Alb)、血中尿素窒素 (BUN) 及び総コレステロール (T-Cho)) と、水の摂取状況を反映する項目 (無機リン (IP) 及びクレアチニン (Cre)) を測定した。なお、採材は、午前中同時刻に行った。

結果及び考察

試験 I における飼養成績を表2～表6に示した。開始日齢及び開始体重を区間で揃え、2017年の夏季と冬季の各1回、2018年の夏季に1回実施した。2017年夏季試験において、平均終了日齢が対照区148.0日、試験区140.5日であり、対照区と比較して、試験区の出荷が1週間以上早い結果であった。また、日増体量は、対照区が0.92 kg/日、試験区1.06 kg/日であり、試験区の増体が高くなったが、飼料摂取量は対照区3.09 kg/日に対し、試験区3.52 kg/日であり、試験区で多く飼料が摂取されていたことから、結果的に飼料要求率は対照区、試験区で差は見られなかった (表2)。Myer and Bucklin (2001)²⁾ は、暑熱ストレスが豚肉生産を減少させる要因は、環境温度の上昇に伴う体温上昇に対する応答として豚が採食量を減少することにあり、相対湿度が50%の条件において、環境温度が20°Cを超えると飼料摂取量が減少し、30°Cを超えると飼料効率も低下することを明らかにしている。2017年夏季試験の際の外気温は、20～30°C付近で推移しており (図1)、本研究における飼料摂取量に差が見られた要因は、環境温度が影響しているものと考えられた。

2017年冬季試験においては、区間に差は見られなかった(表3)。ウインドレス豚舎は、一般的に寒冷ストレスの負荷が小さく、産熱量を増加させる生理反応があまり起こらないことから、飼料要求率の悪化が小さいことを予想していたが、そのような傾向は認められなかった。試験中出荷を開始するまでの期間(2017年12月18日~1月19日)、外気温の最低温度は、1月13日の-7.1℃をピークに0℃を下回っていた(図2)が、日中作業時間(8:30~15:30)は10℃以上であった。このことから、対照区の寒冷負荷の強度が小さかったことが要因として考えられた。

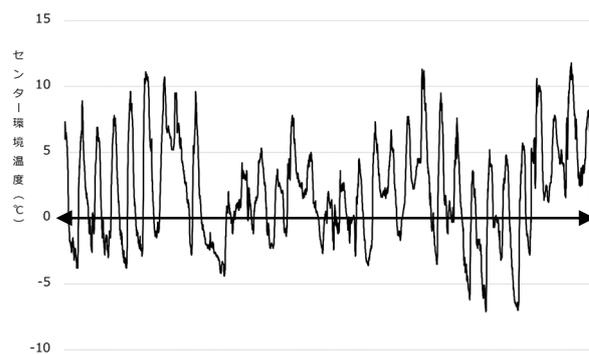


図2 センター外気温推移(試験I:2017年冬季試験)

表2 飼養成績(試験I:2017年夏季試験)

	対照区 (n=12)	試験区 (n=12)	p値
開始体重 (kg)	69.1 ± 1.7	71.7 ± 1.5	0.212
開始日齢 (日)	100.8 ± 1.3	100.8 ± 1.3	1.000
終了体重 (kg)	111.9 ± 1.1	113.7 ± 1.1	0.229
終了日齢 (日)	148.0 ± 3.3	140.5 ± 1.9	0.048*
日増体量 (kg/日)	0.92 ± 0.04	1.06 ± 0.02	0.007**
飼料摂取量 (kg/日)	3.09 ± 0.05	3.52 ± 0.08	0.013*
飼料要求率	3.37 ± 0.14	3.33 ± 0.10	0.817

平均値±標準誤差、* : P<0.05、** : P<0.01

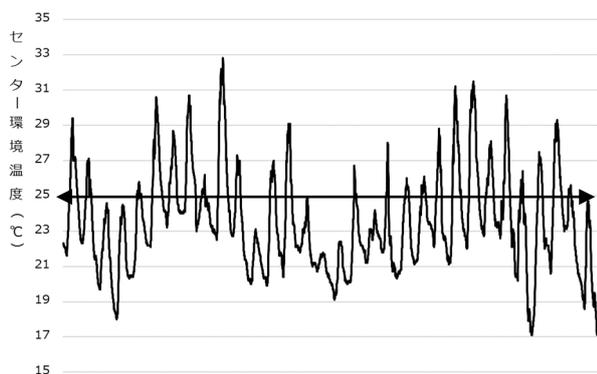


図1 センター外気温推移(試験I:2017年夏季試験)

表3 飼養成績(試験I:2017年冬季試験)

	対照区 (n=12)	試験区 (n=12)	p値
開始体重 (kg)	63.9 ± 1.7	64.7 ± 2.2	0.620
開始日齢 (日)	97.3 ± 0.7	97.3 ± 0.7	1.000
終了体重 (kg)	112.7 ± 1.4	116.2 ± 1.7	0.148
終了日齢 (日)	150.4 ± 1.9	150.4 ± 1.9	1.000
日増体量 (kg/日)	0.93 ± 0.03	0.97 ± 0.03	0.298
飼料摂取量 (kg/日)	3.32 ± 0.08	3.17 ± 0.14	0.461
飼料要求率	3.43 ± 0.08	3.41 ± 0.13	0.925

平均値±標準誤差

2018年夏季試験において、試験期間通期では、2017年夏季試験で見られた試験区で発育が優れる結果は見られなかった。しかし、去勢と雌に分け、試験期間を2週間ごとに区切って比較すると、去勢において増体成績に区間で差が見られた。すなわち、5-6週目に対照区と比較して試験区で日増体量が高くなったが、7-8週目では対照区と比較して試験区で日増体量が低くなった。

表4 飼養成績(試験I:2018年夏季試験)

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p値
開始体重 (kg)	57.2 ± 1.0	56.6 ± 1.0	0.620
開始日齢 (日)	94	94	1.000
終了体重 (kg)	107.6 ± 3.1	109.5 ± 2.3	0.148
終了日齢 (日)	151	151	1.000
日増体量 (kg/日)	0.88 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.298
飼料摂取量 (kg/日)	2.73	3.07	-
飼料要求率	3.10	3.30	-

平均値±標準誤差

表5 飼養成績(試験I:2018年夏季試験(去勢))

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p値
開始体重 (kg)	59.3 ± 0.4	58.3 ± 1.3	0.507
終了体重 (kg)	112.7 ± 1.9	112.8 ± 3.7	0.970
日増体量 (kg/日)	通期 0.94 ± 0.03	0.96 ± 0.06	0.780
	1-2週目 0.81 ± 0.07	0.95 ± 0.09	0.287
	3-4週目 1.18 ± 0.05	1.24 ± 0.03	0.326
	5-6週目 0.78 ± 0.03	1.09 ± 0.01	0.0006***
	7-8週目 1.03 ± 0.05	0.53 ± 0.13	0.021*
飼料摂取量 (kg/日)	2.91	3.14	-
飼料要求率	3.09	3.27	-

平均値±標準誤差、* : P<0.05、*** : P<0.001

表6 飼養成績 (試験 I : 2018 年夏季試験 (雌))

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p 値
開始体重 (kg)	55.0 ± 0.3	54.8 ± 0.2	0.643
終了体重 (kg)	102.5 ± 4.4	106.2 ± 1.6	0.474
日増体量 (kg/日)	通期 0.83 ± 0.07	0.90 ± 0.03	0.435
1-2週目	0.76 ± 0.14	0.81 ± 0.02	0.740
3-4週目	0.85 ± 0.12	0.96 ± 0.02	0.455
5-6週目	1.03 ± 0.08	1.23 ± 0.07	0.126
7-8週目	0.68 ± 0.11	0.56 ± 0.20	0.640
飼料摂取量 (kg/日)	2.55	2.99	—
飼料要求率	3.07	3.33	—

平均値±標準誤差

2018 年夏季試験における舎内温度、湿度及び WBGT について、それぞれ図 4~6 に示した。5-6 週目においては、対照区で舎内平均温度の最高温度 27.5°C、最低温度 24.7°C であったのに対し、試験区では最高値 26.5°C、最低値 23.8°C と区間に 1°C の温度差が生じており、特に対照区は、1 日を通して 25°C を超える時間帯が多かった (図 3)。この時期は、供試豚が 123~138 日齢にあたり、体重は去勢で 90~100kg、雌で 80~95kg であった。西 (1991)³⁾ は、体重増加にともなう枝肉および内臓の水分、脂肪、蛋白割合の推移を調査し、体重 90kg の脂肪の割合を去勢は 32.3%、雌は 26.1% と報告している。また、Mersmann (1984)⁴⁾ は、生後 20 週齢の脂肪細胞の直径や脂肪蓄積能力は、去勢が雌よりも大きいことを報告している。25°C を超える暑熱環境下であった対照区では、脂肪蓄積割合がより高く、エネルギー要求量の多い去勢において飼料摂取量が低下することで、増体量の低下が見られたものと考えられた。一方、5-6 週目と同様に暑熱環境下であった、対照区の 1-2 週目は、94~110 日齢にあたり、体重は 60~73kg、雌でおよそ 55~68kg であった。体重 60kg の脂肪の割合について、去勢は 27.3%、雌は 23.9% であるため、5-6 週目に見られた日増体量への影響はそれほど大きくなかったと推察された。

試験区の 7-8 週目の去勢において、日増体量が低くなったことに関して、気象条件とは異なる要因が生じた可能性があるため、更なる検証が必要と考えられた。

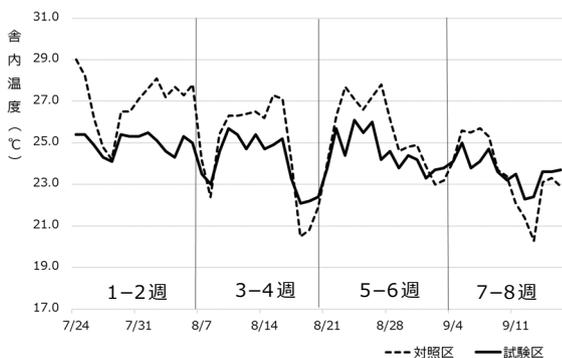


図3 舎内温度の推移 (試験 I : 2018 年夏季試験)

暑熱ストレスは、環境温度だけでなく、湿度の影響も大きい。試験区は対照区に比べ、試験期間を通して湿度が高いことから (図 4)、7-8 週目の日増体量の低下は、湿度の影響がかんげいしているものと推察される。ヒトの暑さ対策として利用される湿度を加味した WBGT は、有意差はないもののわずかに試験区は高く推移していることから、ウインドレス豚舎は、舎内温度だけでなく、湿度のコントロールが重要であることが示唆された。また、WBGT は、ブタに応用した研究は少なく、熱量指数 (温度×湿度) や温湿度指数 (THI) 等の指標を含め今後検証していく必要がある。

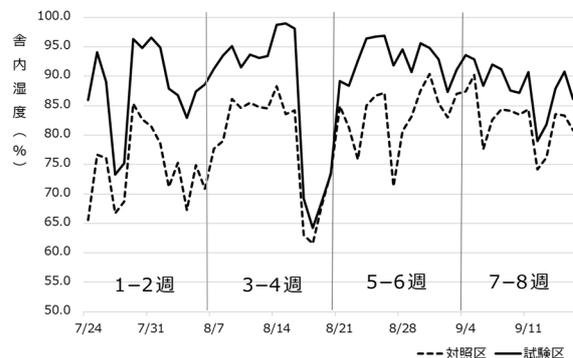


図4 舎内湿度の推移 (試験 I : 2018 年夏季試験)

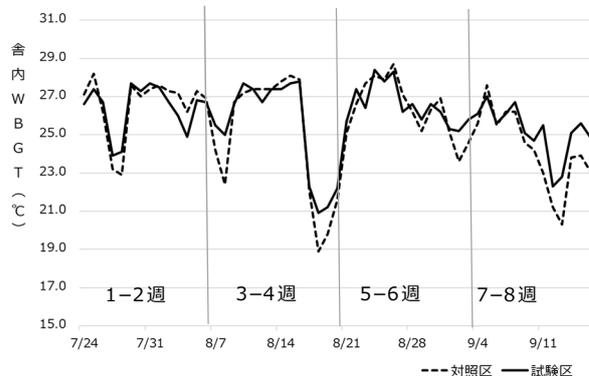


図5 舎内 WBGT の推移 (試験 I : 2018 年夏季試験)

試験 I における枝肉成績を表 7~9 に示した。枝肉成績は、いずれの項目も区間で有意差は見られなかったが、2017 年夏季において試験区で枝肉歩留が低い傾向であり ($p < 0.1$)、出荷日齢が小さいことが影響していることが考えられた。上物率は、2017 年夏季試験で対照区 91.7%、試験区 75.0%、2017 年冬季試験で対照区 83.4%、試験区 66.7%、2018 年夏季試験で両区ともに 83.3% であった。また、上物枝肉の中で、2017 年夏季では試験区 2 頭、2017 年冬季では試験区 1 頭については、極上項目が外観であった。

表7 枝肉成績 (試験 I : 2017 年夏季試験)

	対照区 (n=12)	試験区 (n=12)	p 値
枝肉重量 (kg)	74.5 ± 0.6	74.4 ± 0.8	0.862
枝肉歩留 (%)	66.6 ± 0.3	65.4 ± 0.5	0.093
背脂肪厚 (cm)	1.9 ± 0.1	1.7 ± 0.1	0.291
上物率 (%)	91.7	75.0	—
平均値±標準誤差			

表8 枝肉成績 (試験 I : 2017 年冬季試験)

	対照区 (n=12)	試験区 (n=12)	p 値
枝肉重量 (kg)	75.5 ± 1.0	77.5 ± 1.1	0.185
枝肉歩留 (%)	67.0 ± 0.3	66.7 ± 0.4	0.601
背脂肪厚 (cm)	1.8 ± 0.1	1.8 ± 0.1	0.889
上物率 (%)	83.4	66.7	—
平均値±標準誤差			

表9 枝肉成績 (試験 I : 2018 年夏季試験)

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p 値
枝肉重量 (kg)	73.5 ± 1.8	74.8 ± 1.5	0.563
枝肉歩留 (%)	68.4 ± 0.6	68.4 ± 1.0	0.996
背脂肪厚 (cm)	1.8 ± 0.1	2.0 ± 0.1	0.161
上物率 (%)	83.3	83.3	—
平均値±標準誤差			

試験 I における胸最長筋の肉質分析結果を表 10~12 に示した。2017 年夏季試験においては、いずれの項目も区間で差は見られなかったが、もろさについて、対照区と比較して試験区で高い傾向であった ($p < 0.1$)。2017 年冬季試験においても、いずれの項目も区間で差は見られなかったが、対照区と比較して、試験区の肉色 (b*値) が低い傾向であった ($p < 0.1$)。2018 年夏季試験においても、いずれの項目も区間で差は見られなかったが、もろさについて、対照区と比較して試験区で低い傾向となり ($p < 0.1$)、2017 年夏季試験の結果とは逆の傾向であり、各試験を通して一定の傾向は見られなかった。片寄ら (1976)⁵⁾は、ウインドレス豚舎で飼養した豚と、開放豚舎で飼養した豚の肉質には差がないことを報告しており、本研究の結果と一致した。

表10 肉質分析結果 (試験 I : 2017 年夏季試験)

		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
pH	(24時間後)	5.7 ± 0.04	5.8 ± 0.02	0.749
ドリップロス (%)		11.2 ± 0.4	11.4 ± 0.4	0.666
加熱損失 (%)		20.5 ± 1.1	20.0 ± 1.1	0.715
肉色	(L*値)	48.8 ± 1.2	47.0 ± 0.6	0.230
	(a*値)	7.3 ± 0.3	8.4 ± 0.7	0.154
	(b*値)	7.6 ± 0.5	7.2 ± 0.8	0.482
脂肪色	(L*値)	78.7 ± 0.6	76.9 ± 0.5	0.139
	(a*値)	4.1 ± 0.3	4.3 ± 0.6	0.668
	(b*値)	7.8 ± 0.2	8.1 ± 0.4	0.346
かたさ1	(×10 ⁷ N/m)	4.7 ± 0.6	5.1 ± 0.5	0.580
かたさ2	(×10 ⁷ N/m)	4.1 ± 0.5	4.2 ± 0.5	0.930
もろさ	(N)	33.2 ± 3.4	39.6 ± 4.3	0.075
弾力性	(%)	55.5 ± 2.6	55.3 ± 4.3	0.941
凝集性	(%)	47.4 ± 4.5	50.5 ± 3.9	0.162
そしゃく性	(N)	9.8 ± 1.5	11.7 ± 1.3	0.223
平均値±標準誤差				

表11 肉質分析結果 (試験 I : 2017 年冬季試験)

		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
pH		6.1 ± 0.08	6.2 ± 0.07	0.056
ドリップロス (%)		4.9 ± 0.2	4.3 ± 0.4	0.295
加熱損失 (%)		27.3 ± 0.6	26.2 ± 0.7	0.206
肉色	(L*値)	47.8 ± 1.1	45.3 ± 0.5	0.133
	(a*値)	6.4 ± 0.2	6.5 ± 0.3	0.731
	(b*値)	5.6 ± 0.4	4.8 ± 0.2	0.068
脂肪色	(L*値)	75.3 ± 0.3	76.7 ± 0.8	0.116
	(a*値)	4.2 ± 0.3	3.6 ± 0.1	0.171
	(b*値)	7.1 ± 0.2	7.0 ± 0.1	0.596
かたさ1	(×10 ⁷ N/m)	15.0 ± 1.3	19.5 ± 2.8	0.191
かたさ2	(×10 ⁷ N/m)	13.4 ± 1.2	17.2 ± 2.5	0.183
もろさ	(N)	26.5 ± 2.3	34.3 ± 4.9	0.192
弾力性	(%)	54.3 ± 1.8	58.5 ± 2.0	0.133
凝集性	(%)	57.3 ± 2.9	62.4 ± 2.4	0.268
そしゃく性	(N)	8.4 ± 1.3	12.8 ± 2.4	0.166
平均値±標準誤差				

表12 肉質分析結果 (試験 I : 2018 年夏季試験)

		対照区 (n=3)	試験区 (n=3)	p 値
pH		5.7 ± 0.01	5.6 ± 0.05	0.518
ドリップロス (%)		5.8 ± 0.2	5.2 ± 0.3	0.139
加熱損失 (%)		28.2 ± 1.0	26.8 ± 0.0	0.312
肉色	(L*値)	48.9 ± 0.7	48.8 ± 0.9	0.918
	(a*値)	7.1 ± 0.2	6.7 ± 0.4	0.415
	(b*値)	6.4 ± 0.1	5.9 ± 0.2	0.188
脂肪色	(L*値)	76.4 ± 1.3	77.9 ± 0.8	0.370
	(a*値)	5.5 ± 1.0	4.5 ± 0.4	0.396
	(b*値)	7.7 ± 0.7	7.0 ± 0.3	0.433
かたさ1	(×10 ⁷ N/m)	5.2 ± 0.1	4.5 ± 0.4	0.147
かたさ2	(×10 ⁷ N/m)	4.1 ± 0.4	3.8 ± 0.4	0.551
もろさ	(N)	40.5 ± 1.0	34.5 ± 2.4	0.082
弾力性	(%)	45.4 ± 6.6	42.1 ± 3.0	0.672
凝集性	(%)	8.7 ± 2.0	6.8 ± 1.1	0.459
そしゃく性	(N)	45.1 ± 2.6	44.9 ± 0.9	0.954
平均値±標準誤差				

2017年夏季試験における9時前後の舎内温度及び供試豚の直腸温、心拍数・呼吸数について、各区それぞれ図6～図11に示した。肥育豚の基準値は、直腸温39～40℃、心拍数（安静時）70～80回/分、呼吸数20～30回/分程度である。Christon(1988)⁶⁾は、暑熱ストレスに対する豚の生理機能の変化を指摘し、22～32℃の環境下において直腸温の上昇、呼吸数の増加が見られたことを報告している。また、鎌田ら(1986)⁷⁾は、環境温度（33℃から49℃）が上昇するに従い、生理反応（心拍数、呼吸数及び直腸温）は増加または上昇し、気温41℃における呼吸数と直腸温の最高値はそれぞれ230回/分、42.8℃であったことを報告している。本研究においても、環境温度の上昇の影響により、対照区で生理反応の増加または上昇が見られることを予想したが、区間で大きな差は見られなかった。また、予想とは逆に、8/3の直腸温が、対照区と比較し試験区で高値となった。これは、測定時の舎内温度は区間で同程度であったが、舎内湿度は対照区約80%であったのに対し、試験区で約90%であったことから、湿度を含めた飼養環境が直腸温に影響している可能性があると考えられた。また高湿度の環境（8/17、8/22）は心拍数にも影響している可能性がある。

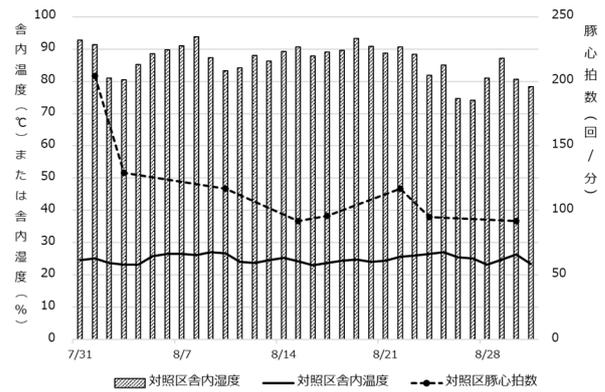


図8 対照区舎内温湿度と豚心拍数
(試験 I : 2017 年夏季試験)

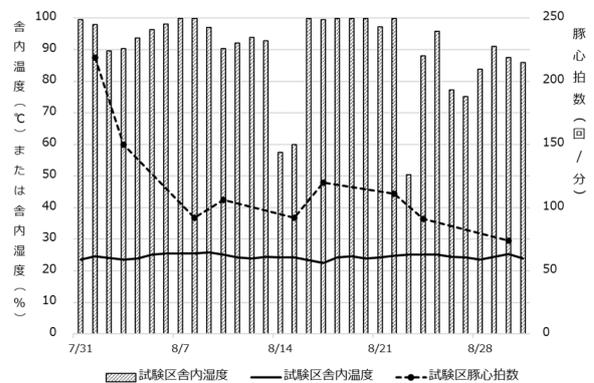


図9 試験区舎内温湿度と豚心拍数
(試験 I : 2017 年夏季試験)

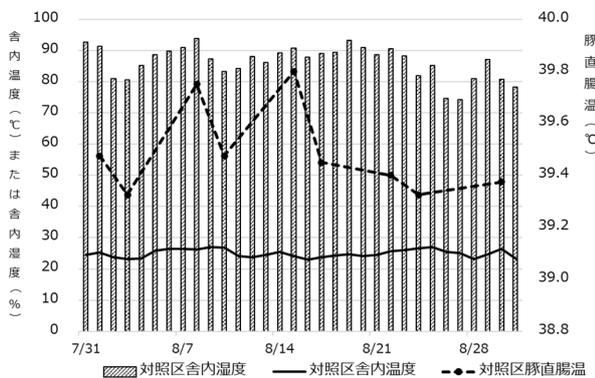


図6 対照区舎内温湿度と豚直腸温
(試験 I : 2017 年夏季試験)

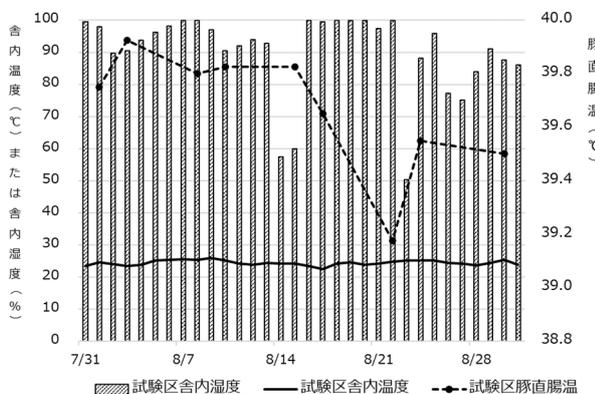


図7 試験区舎内温湿度と豚直腸温
(試験 I : 2017 年夏季試験)

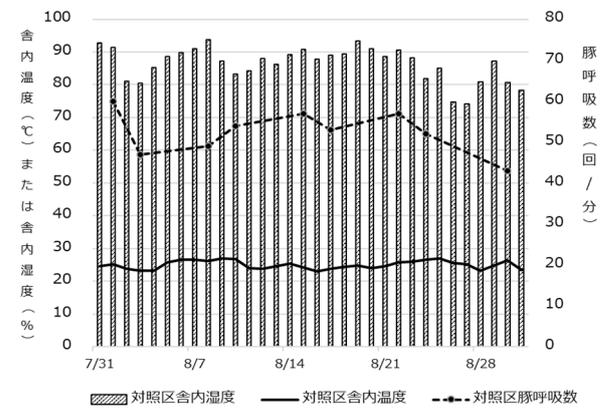


図10 対照区舎内温湿度と豚呼吸数
(試験 I : 2017 年夏季試験)

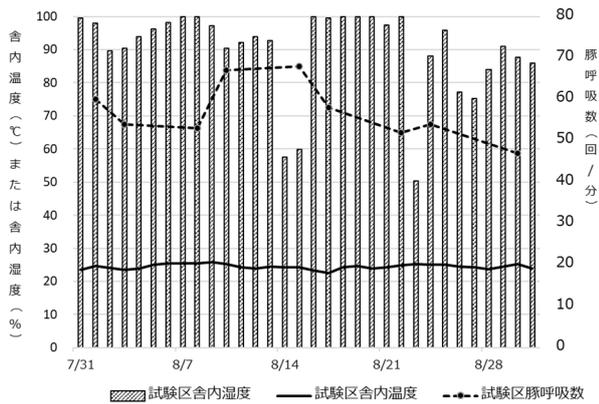


図 11 試験区舎内温湿度と豚呼吸数
(試験 I : 2017 年夏季試験)

2017 年冬季試験における 9 時前後の舎内温度及び供試豚の直腸温、心拍数・呼吸数をそれぞれ図 12～17 に示した (対照区の 12 月温湿度データについては欠測)。直腸温において、対照区と比較し試験区では、平均値で 0.2℃、有意に高い値であり、冬季でも豚舎環境が一定であることが、基準値に近い値になったと考えられた。

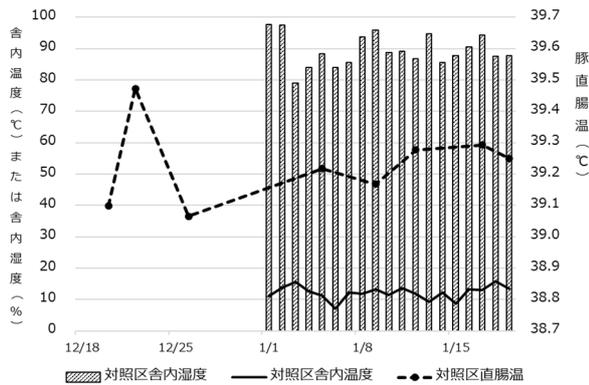


図 12 対照区舎内温湿度と豚直腸温
(試験 I : 2017 年冬季試験)

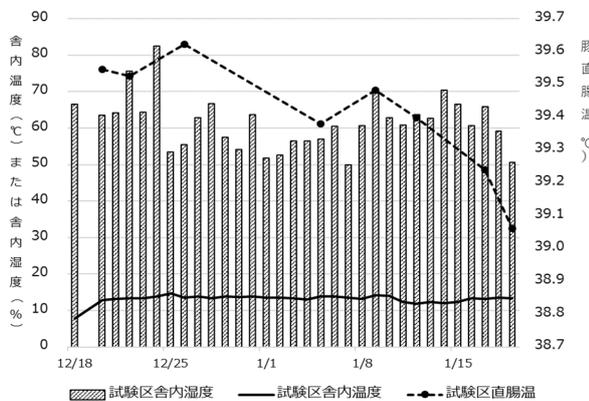


図 13 試験区舎内温湿度と豚直腸温
(試験 I : 2017 年冬季試験)

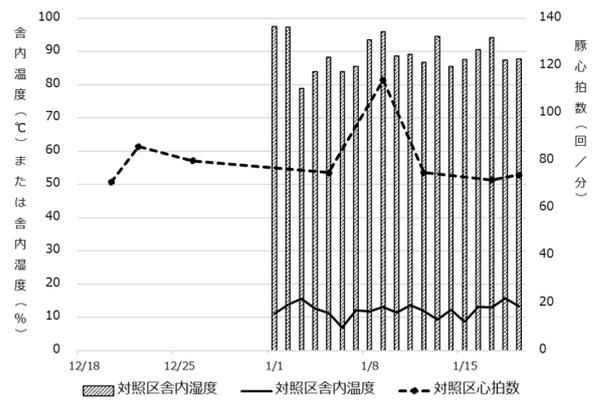


図 14 対照区舎内温湿度と豚心拍数
(試験 I : 2017 年冬季試験)

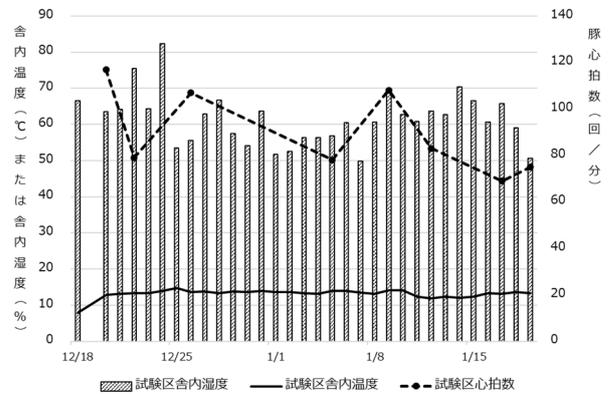


図 15 試験区舎内温湿度と豚心拍数
(試験 I : 2017 年冬季試験)

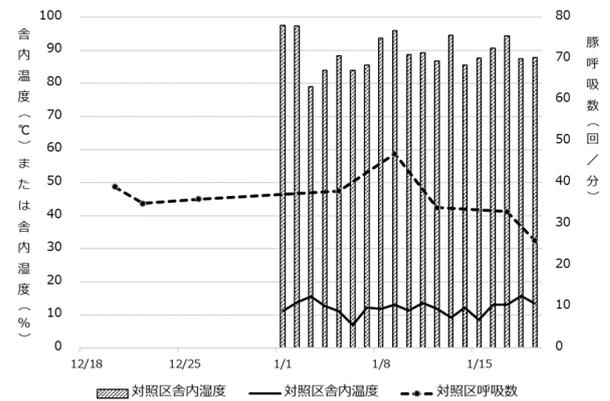


図 16 対照区舎内温湿度と豚呼吸数
(試験 I : 2017 年冬季試験)

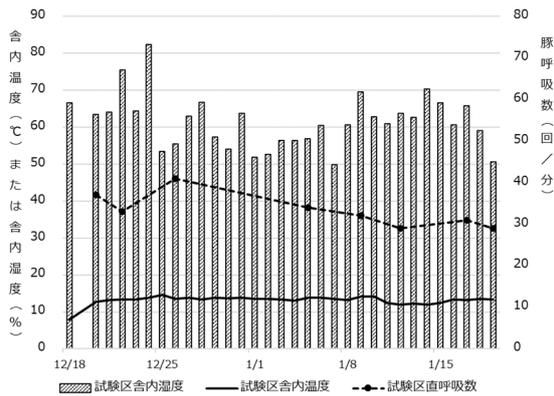


図 17 対照区舎内温湿度と豚呼吸数
(試験 I : 2017 年冬季試験)

2017 年夏季・冬季試験における血液生化学検査(各試験 n=4 (両区とも去勢 2 頭、雌 2 頭)) を各試験で 3 回ずつ行い、それぞれ表 13、14 に示した。また、血液生化学性状の参考値を表 15 に示した⁸⁾。夏季試験において、いずれの項目も区間に差が見られなかった。冬季試験における 1/29 の T-Cho と IP の値が対照区と比較して試験区で低い値となった。コレステロールの代謝から生じる 7-デヒドロコレステロールへの、紫外線照射により皮膚においてビタミン D₃ が合成され、血液中のカルシウム・リン酸の恒常性の維持や骨の形成に関わる。試験を実施したセンターのウインドレス豚舎の東側壁面には、ポリオレフィン系樹脂というプラスチックが原料のエアマットカーテンが設置されている。今回、冬季試験後半で血中リンが低値を示しているが、夏季の飼養では、紫外線透過率がある程度高いカーテンや換気扇の隙間等から紫外線が照射された可能性があったものの、紫外線絶対量が少ない冬季においては、外部からの紫外線照射が得られなかったことが考えられる。冬季にビタミン D₃ の合成が行われない結果、血中リン濃度や今回測定していないが、血中カルシウム濃度が低値となっている可能性がある。血中総コレステロール濃度の低下については、中間物質である 7-デヒドロコレステロール等への代謝による減少が考えられる。ビタミン D₃ が合成されないことで、骨形成が行われず骨密度の低下が引き起こされる結果、脚弱等の症状を呈する可能性もあることから、今後さらに検証する必要があると考えられた。

表 13 血液生化学検査結果(試験 I : 2017 年夏季試験)

2017/7/31		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	5.4 ± 0.7	4.9 ± 0.4	0.355
T-Cho	mmol/l	2.7 ± 0.1	2.7 ± 0.05	0.549
BUN	mmol/l	5.2 ± 0.5	4.7 ± 0.7	0.312
IP	mmol/l	2.6 ± 0.05	2.6 ± 0.1	0.312
Alb	g/l	39 ± 1.0	38 ± 0.9	0.252
TP	g/l	65 ± 0.6	64 ± 2.0	0.594

平均値±標準誤差

2017/8/14		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	5.4 ± 0.2	4.9 ± 0.4	0.551
T-Cho	mmol/l	2.6 ± 0.2	2.5 ± 0.1	0.547
BUN	mmol/l	4.6 ± 0.4	4.8 ± 0.7	0.796
IP	mmol/l	2.2 ± 0.06	2.3 ± 0.1	0.191
Alb	g/l	39 ± 1.7	37 ± 0.3	0.174
TP	g/l	62 ± 0.1	60 ± 0.2	0.289

平均値±標準誤差

2017/8/28		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	3.0 ± 0.4	4.3 ± 0.3	0.171
T-Cho	mmol/l	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1	0.839
BUN	mmol/l	4.7 ± 0.2	4.9 ± 0.5	0.703
IP	mmol/l	2.1 ± 0.05	2.3 ± 0.1	0.102
Alb	g/l	38 ± 1.1	37 ± 1.1	0.215
TP	g/l	59 ± 2.2	63 ± 2.1	0.337
Cre	μmol/l	91 ± 5.6	102 ± 11.7	0.342

平均値±標準誤差

表 14 血液生化学検査結果(試験 I : 2017 年冬季試験)

2017/12/19		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	5.5 ± 0.5	5.6 ± 0.3	0.789
T-Cho	mmol/l	2.8 ± 0.2	2.6 ± 0.2	0.331
BUN	mmol/l	5.8 ± 1.1	6.8 ± 0.3	0.509
IP	mmol/l	2.5 ± 0.1	2.3 ± 0.1	0.421
Alb	g/l	41 ± 4.1	37 ± 1.0	0.389
TP	g/l	62 ± 1.9	62 ± 1.8	0.703
Cre	μmol/l	75 ± 4.4	75 ± 5.7	—

平均値±標準誤差

2018/1/19		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	4.7 ± 0.3	4.5 ± 0.4	0.696
T-Cho	mmol/l	2.9 ± 0.1	2.6 ± 0.05	0.295
BUN	mmol/l	5.4 ± 0.7	5.0 ± 0.5	0.655
IP	mmol/l	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.1	0.711
Alb	g/l	38 ± 1.7	40 ± 1.3	0.322
TP	g/l	64 ± 2.0	65 ± 1.9	0.736
Cre	μmol/l	80 ± 5.1	93 ± 5.7	0.182
平均値±標準誤差				
2018/1/29		対照区 (n=4)	試験区 (n=4)	p 値
Glu	mmol/l	4.7 ± 0.2	4.5 ± 0.3	0.749
T-Cho	mmol/l	2.8 ± 0.2	2.4 ± 0.1	0.041*
BUN	mmol/l	5.1 ± 0.6	5.3 ± 0.3	0.804
IP	mmol/l	2.2 ± 0.03	2.0 ± 0.03	0.019*
Alb	g/l	38 ± 0.6	37 ± 0.6	0.319
TP	g/l	67 ± 2.0	68 ± 1.3	0.772
Cre	μmol/l	77 ± 2.2	82 ± 9.8	0.731
平均値±標準誤差、* : P<0.05				

表 15 血液生化学性状 (血清)

Glu	mmol/l	4.0 ~ 8.1
T-Cho	mmol/l	1.4 ~ 3.2
BUN	mmol/l	2.6 ~ 8.6
IP	mmol/l	2.3 ~ 3.4
Alb	g/l	19 ~ 42
TP	g/l	52 ~ 83
Cre	μmol/l	77 ~ 165

※440頭平均値の95%信頼区間

試験Ⅱ 「飼料給与方法の確立」

材料及び方法

1 供試豚および試験区分

供試豚は、体重約 30 kg の LWD 種肥育豚 12 頭 (母豚 2 頭由来、去勢豚 4 頭、雌豚 8 頭) とし、2019 年 9 月 18 日～12 月 3 日までの 75 日間試験を実施した。試験期間を 2 期に分け、9 月 18 日～10 月 23 日を肥育前期 (30～70 kg)、10 月 24 日～12 月 3 日を肥育後期 (70～110 kg) とし、飼養試験を実施した。給餌器は、飼料切出し型給餌器 (コカ・フィーダー-NSF27 型、イワタニ・ケンボロー株式会社、東京) を用い、試験区分として、飼槽内飲水器に水を供給しないドライフィーディングとした対照区に対し、飼槽内飲水器に水を供給するウェットフィーディングとした試験区を設定し、各区去勢豚 2 頭、雌豚 4 頭を配置した。

2 飼養管理方法

飼養試験は、当センターのウインドレス豚舎で実施し、供試豚は、2.4×2.1 m の豚房に 3 頭ずつ収容し、各区 2 豚房ずつの群飼とした。舎内温度は、肥育前期期間は 22～23 °C、肥育後期期間は 18～20°C に設定し、自動調整を実施した。

給与飼料は、市販の肥育前期飼料 (CP16.0%以上、TDN79.0%以上。形状はマッシュ。肥育前期に給与。) 及び肥育後期飼料 (CP14.0%以上、TDN77.0%以上。形状はマッシュ。肥育後期に給与。) を用いた。飲水は自由としたが、試験区は給餌器飼槽内の飲水器のみを、対照区は豚房内に設置してあるウォーターカップのみを使用し、各飲水器への給水量は流量計により測定した。

3 調査項目

飼養成績 (体重、日増体量、飼料摂取量及び飼料要求率)、水消費量、枝肉成績 (枝肉重量、枝肉歩留、背脂肪厚及び上物率) 及び胸最長筋の肉質 (ロース芯面積、pH、ドリップロス、加熱損失、肉色、脂肪色 (背脂肪) 及びテクスチャー)、舎内温湿度とした。

なお、本研究において、水の量は、豚が飲水またはこぼし水として消費した量を計測しているため、「水消費量」とした。

胸最長筋の肉質分析 (n=3、両区とも雌 3 頭) については、試験Ⅰと同じ方法で実施した。

また、舎内温湿度については、豚舎内に設置しデジタル温湿度計を用い、1 日 2 回 (朝 8:45 頃、夕方 15:30 頃) 計測した。

結果及び考察

試験Ⅱにおける飼養成績を表 16 に示した。終了体重及び日増体量ともに、区間で差は見られなかった。また、飼料要求率は、肥育全期間において、対照区 3.31 であるのに対し、試験区 3.45 であった。柏崎⁹⁾は、水分を含んだウェット状の飼料の給与は、飼料摂取量が増加し、平均日増体量が改善することを報告しているが、今回の試験では飼養成績の改善効果は見られなかった。本試験は、ウインドレス豚舎内での飼養であり、舎内温度の改善が図られた環境下であったことから、飼養成績に差が見られなかった可能性があると考えられた。

表 16 飼養成績（試験Ⅱ）

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p 値
開始体重 (kg)	33.3 ± 1.6	31.6 ± 1.7	0.053
終了体重 (kg)	112.5 ± 2.7	109.5 ± 3.6	0.135
日増体量 (kg/日)	1.03 ± 0.02	1.01 ± 0.03	0.452
肥育前期	1.03 ± 0.03	1.03 ± 0.03	0.357
肥育後期	1.03 ± 0.03	0.99 ± 0.03	0.811
飼料摂取量 (kg/日)	3.41	3.49	—
飼料要求率	3.31	3.45	—
肥育前期	2.96	2.95	—
肥育後期	3.62	3.91	—

平均値±標準誤差

試験Ⅱの水消費量を表 17 に示した。

肥育全期間の水消費量について、対照区 13.12 L/日であるに対し、試験区で 5.16 L/日であった。肥育前期、肥育後期及び肥育全期間とも試験区は対照区の半分以下の水消費量であった。さらに、試験期間を通じた総消費量については、対照区では 1 頭平均 1.55 m³を消費していたのに対し、試験区では 0.61 m³と約 40%の消費量に抑えられていた。宮脇ら(1994)¹⁰は、夏季において、ドライフィーダーを用いた対照区と比較し、飼料切り出し型ウェットフィーダーを用いた試験区で 39～45%の水消費量であったことを報告しており、今回の結果と一致した。また、同報告において、夏季（7～10 月）の水消費量に影響を及ぼす要因として、舎内の最高気温が最も高い正の相関を示しており、最高気温が上昇するに従い、対照区で明らかに水消費量の増加傾向が認められた一方、試験区での増加は軽度であることを明らかにしている。さらに、冬季（11～2 月）においては、この傾向は見られず、日最高気温 15℃以上、日平均気温 10℃以上で区間に差がみられたことを報告している。

表 17 水消費量（試験Ⅱ）

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p 値
水消費量 (L/日)	13.12	5.16	—
肥育前期	11.16	4.90	—
肥育後期	15.34	5.55	—

試験Ⅱにおける舎内温度と湿度について図 18、19 にそれぞれ示した。試験期間を通して、朝と夕方の気温、豚舎の温度自動調整機能から、日最高気温 15℃以上、日平均気温が 10℃以上であったことが考えられ、宮脇らの報告と一致した。

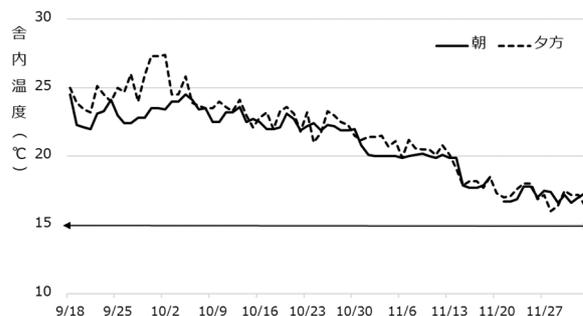


図 18 舎内温度の推移（試験Ⅱ）

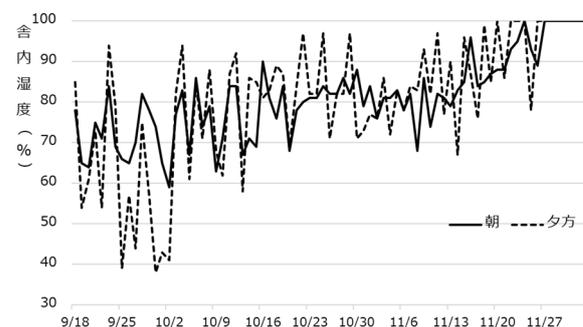


図 19 舎内湿度の推移（試験Ⅱ）

試験Ⅱの枝肉成績を表 18 に示した。

いずれの項目も区間で差は見られなかった。なお、格落ち要因は、試験区：背薄、肉締、剥離ロス両 1 頭であった。

表 18 枝肉成績（試験Ⅱ）

	対照区 (n=6)	試験区 (n=6)	p 値
枝肉重量 (kg)	74.0 ± 2.5	73.2 ± 3.0	0.839
枝肉歩留 (%)	65.3 ± 0.5	65.8 ± 0.9	0.658
背脂肪厚 (cm)	1.9 ± 0.3	1.9 ± 0.4	0.948
上物率 (%)	100.0	66.7	0.423

平均値±標準誤差

試験Ⅱにおける胸最長筋の肉質分析結果を表 19 に示した。いずれの項目も区間で差は見られなかったが、対照区と比較して、試験区では弾力性が低い傾向であった ($p=0.133$)。

表 19 肉質分析結果 (試験Ⅱ)

	対照区 (n=3)	試験区 (n=3)	p 値	
コース芯面積 (cm)	37.5 ± 3.5	38.7 ± 2.2	0.640	
pH	5.7 ± 0.09	5.7 ± 0.03	0.687	
ドリップロス (%、24時間後)	6.6 ± 1.5	6.4 ± 0.5	0.851	
加熱損失 (%)	27.3 ± 1.6	26.3 ± 0.6	0.391	
肉色	(L*値)	46.8 ± 0.3	48.7 ± 1.3	0.463
	(a*値)	6.7 ± 0.7	6.5 ± 0.5	0.676
	(b*値)	6.5 ± 0.7	7.0 ± 1.1	0.507
脂肪色	(L*値)	75.6 ± 1.6	76.6 ± 1.2	0.463
	(a*値)	5.7 ± 0.9	5.4 ± 0.7	0.582
	(b*値)	7.6 ± 0.2	7.7 ± 0.3	0.660
かたさ (×10 ⁷ N/mi)	4.6 ± 0.5	4.6 ± 0.7	0.972	
もろさ (N)	36.7 ± 3.7	36.7 ± 5.6	0.991	
弾力性 (%)	46.2 ± 4.2	41.4 ± 1.4	0.133	
凝集性 (%)	54.6 ± 3.8	56.2 ± 4.2	0.644	
そしゃく性 (N)	9.2 ± 1.5	8.5 ± 1.8	0.638	

平均値±標準誤差

肥育豚の飲水量 (水分要求量) については、飼料摂取量 1 kg 当たり、体重 51~80 kg で 2.0~2.3L、81~110 kg で 2L 程度とされている (飼養標準 豚)。今回の平均飼料摂取量は、試験Ⅰで 2.73~3.52 kg/日、試験Ⅱで 3.41~3.49 kg/日であることから、適温環境下における肥育豚 1 頭当たりの飲水量 (水分要求量) は試験Ⅰで 5.46~8.1 L/日、試験Ⅱで 6.82~8.0 L/日と試算され、試験Ⅱの肥育前期では対照区が水分要求量の 164%、試験区が 72%、肥育後期ではそれぞれ 225%、81% となり、対照区は暑熱 (日最高気温 15℃以上、日平均気温が 10℃以上) の影響で、水消費量が 1.6~2.2 倍増加したと考えられる。2018 年の予備試験では、試験区は給餌器飼槽内の飲水器と豚房内のウォーターカップの両方を使用し、対照区は豚房内に設置してあるウォ

ーターカップのみを使用したところ、両区ともに 11 L/日程度の水消費量があることから、ウインドレス豚舎での飲水器は、水消費抑制対策として飼槽内飲水器に水を供給するウェットフィーディングのみの使用が優れていることが示唆された。

総括

本研究では、ウインドレス豚舎及び開放豚舎における肥育成績を比較検証するとともに、ウインドレス豚舎内での飼料給与方法について、ウェット状態とドライ状態における肥育成績の違いについて調査した。ウインドレス豚舎での飼養は、発育性、飼料要求率及び枝肉成績について、開放豚舎での飼養と同等の成績が得られ、肉質でも差が見られなかった。一方、ウインドレス豚舎での飼養は、日光照射が得られず、ビタミン D₃ の生合成に影響がある可能性があり、例数を重ねた検証が必要であると考えられた。さらに、片寄ら (1973)¹¹⁾ は、夏季において外気湿度の低い日中のウインドレス豚舎は舎内湿度が 2~9% 前後高く、冬季は、全般的に豚舎内湿度が 3~25% 低かったことを報告している。湿度を含めた環境条件が豚に与える影響については、今後さらに検証が必要であると考えられた。

また、ウェット状態での飼料給与は、ドライ状態での飼料給与と同等の肥育成績を得ることができ、また水消費量が抑えられることが示唆された。

さらに、ウインドレス豚舎は、開放豚舎に比べ、建設費、維持費が高い側面があるが、気密性が高く感染症対策としても有効であること及び舎内温度の日較差が開放豚舎に比べ小さく呼吸器病に対しても有効であると考えられること等の理由により衛生面で優れることから、今後活用の幅が広がる可能性があると考えられた。

参考文献

- 1) 大城守、池宮城一文、津波修、比嘉義政ほか、2014. 養豚管理における暑熱ストレスの影響と効果的対策の検討. 畜産コンサルタント 50(8), 57-61.
- 2) MYER, R. and R. BUCKLIN. 2001. Influence of Hot-Humid environment on growth performance and reproduction of swine. University of Florida, IFAS Extension.
- 3) 西清志、鈴木啓一、渡辺好造. 1991. 肥育豚の発育に伴う皮下脂肪厚および枝肉脂肪面積割合の変化の部位別検討. 平成 2 年度宮城畜試試験成績書 170-176.
- 4) Mersmann, H. J. 1984. Effect of sex on lipogenic activity in swine adipose tissue. Journal of Animal Science, 58, 600-605.
- 5) 片寄正歳、古橋圭介、尾崎晴美、梅本栄一. 1976. 給気式ウインドレス豚舎の環境条件と管理技術に関する試験Ⅳ ウインドレス豚舎における豚の行動対応と飼養豚の肉質. 神奈川県畜産試験場研究報告 66, 29-33.
- 6) Christon, R. 1988. The effect of tropical ambient temperature on growth and metabolism in pigs. Journal of Animal Science 66(12), 3112-3123.

- 7) 鎌田寿彦、中村孝、野附巖、森田琢磨. 1986. 極度の高温感作が豚に及ぼす影響. 日豚研誌 (23)4. 173-178.
- 8) 柏崎守、久保正法、小久江栄一、清水実嗣、出口栄三郎、古谷修、山本孝史. 1999. 豚病学〈第四版〉生理・疾病・飼養 近代出版
- 9) 柏崎直巳. 1993. 豚のウェットフィーディングについて. 日豚会誌 30(1). 114-119
- 10) 宮脇耕平、保科和夫、伊東正吾. ウェットフィーディングが肥育豚の採食行動および飼槽の利用に及ぼす影響. 日豚会誌 33(3). 88-96
- 11) 片寄正歳、古橋圭介、佐藤安弘. 1973. 給気式ウインドレス豚舎の環境条件と管理技術に関する試験 I 給気式ウインドレス豚舎の換気に関する試験. 神奈川県畜産試験場研究報告 62, 33-43.

Verification of the efficiency of a windowless pig fattening house under environmental changes such as heat and feeding management.