

Animal Industry and Technology(축산기술과 산업) TITLE PAGE

Upload this completed form to website with submission

ARTICLE INFORMATION	Fill in information in each box below
Article Type	Review article
Article Title (English; within 20 words without abbreviations)	Implementation and Improvement of Animal-Based Measures for Environmental Management Assessment Items in Animal Welfare Certification System
Article Title (Korean; English paper can be omitted)	축우 대상 동물복지 인증제도 환경관리 평가항목의 동물 기반 지표 접목 확대 및 개선 방안
Running Title (English; within 10 words)	Animal-Based Measures for Environmental Management Criteria in Welfare Certification
Author (English)	Yejin Mun ¹ , Sang-Ho Kim ² , Nag-Jin Choi ³
Affiliation (English)	1 Department of Animal Resources and Biotechnology, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea 2 K-Aniwel, Suwon 16672, Korea 3 Department of Animal Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
Author (Korean; English paper can be omitted)	문예진 ¹ , 김상호 ² , 최낙진 ³
Affiliation (Korean; English paper can be omitted)	1 전북대학교 축산학과 2 케이애니웰 3 전북대학교 농업생명과학대학 동물자원과학과
ORCID (for more information, please visit https://orcid.org)	Yejin Mun (https://orcid.org/0009-0004-3653-2815) Sang-Ho Kim(https://orcid.org/0000-0002-7203-8863) Nag-Jin Choi (https://orcid.org/0000-0003-0145-8905)
Competing interests	No potential conflict of interest relevant to this article was reported.
Funding sources State funding sources (grants, funding sources, equipment, and supplies). Include name and number of grant if available.	Not applicable.
Acknowledgements	Not applicable.
Availability of data and material	Upon reasonable request, the datasets of this study can be available from the corresponding author.
Authors' contributions Please specify the authors' role using this form.	Conceptualization: Mun Y, Choi NJ. Data curation: Mun Y. Formal analysis: Mun Y. Methodology: Mun Y, Choi NJ. Validation: Kim SH, Choi NJ. Investigation: Mun Y. Writing - original draft: Mun Y. Writing - review & editing: Mun Y, Kim SH, Choi NJ.
Ethics approval and consent to participate	This article does not require IRB/IACUC approval because there are no human and animal participants.

6 **CORRESPONDING AUTHOR CONTACT INFORMATION**

For the corresponding author (responsible for correspondence, proofreading, and reprints)	Fill in information in each box below
First name, middle initial, last name	최낙진 Nag-Jin Choi
Email address – this is where your proofs will be sent	nagjin@jbnu.ac.kr
Secondary Email address	
Address	Department of Animal Science, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Korea
Cell phone number	010-5244-4716
Office phone number	063-270-2579
Fax number	

7
8

ACCEPTED

9 **(Unstructured) Abstract (up to 350 words)**

10 South Korea has implemented an animal welfare certification system for seven livestock species since
11 2012. However, the system faces limitations such as ambiguous assessment criteria, reliance on subjective
12 judgment, and insufficient use of animal-based measures. Although some studies have investigated
13 animal-based measures for farm animals raised in South Korea, their integration into the certification
14 standards remains limited —especially in environmental management, where housing conditions play a
15 critical role in determining welfare outcomes. This study discusses the limitations of environmental
16 management assessment criteria in the animal welfare certification system for cattle and proposes
17 directions for applying animal-based measures. Cattle are vulnerable to glare, contrast, and non-uniform
18 lighting, yet current certification standards specify only illuminance levels focused on worker comfort.
19 Under such conditions, cattle showed behavioral changes such as stopping, changing stride, increasing
20 moving speed, avoiding obstacles, and hesitation in walking. Current air quality assessments are limited
21 in scope and primarily rely on subjective sensory evaluations by the evaluator. Exposure to airborne
22 pollutants can cause tearing, nasal discharge, coughing, and corneal ulcers in cattle, and further research
23 is warranted to clarify the relationship between airborne pollutants and associated clinical symptoms in
24 cattle. Temperature assessment relies on facility status and daily records, but the effect of the facility and
25 the perceived temperature can differ even in the same environment due to various factors. Panting and
26 shivering scores have been used in several studies as indicators of cattle's physical responses to thermal
27 stress, indicating a need for further validation for cattle breeds raised domestically. Cattle are also
28 vulnerable to high-frequency, biological, intermittent, and sudden noises from inside and outside the
29 farm; however, noise standards are not clearly defined in current certification criteria, leading to
30 subjective assessments. Such noise exposure can provoke increased heart rate, agitation, freezing, milling,
31 and refusal to walk, which can be identified through the pryer reflex. In this way, physical responses of
32 cattle under different environmental management levels can be interpreted as indicators of discomfort
33 with the housing environment. Applying animal-based measures to assess welfare levels for
34 environmental management may increase the effectiveness of assessments through more accurate and
35 objective criteria.

36

37 **Keywords (3 to 6):** Animal welfare, Cattle, Environment, Assessment, Animal-based measures

38

39

40 서론 (Introduction)

41 2000년대 초반 국내에서 발생한 대규모 가축 전염병의 유행이 농장 동물 복지에 대한 관심으로
42 이어지면서 2012년에 산란계를 시작으로 양돈(2013), 육계(2014), 한·육우·젖소·염소(2015) 및
43 오리(2016) 농장에 대한 동물복지축산농장 인증제가 점진적으로 도입되었다. 현재까지 산란계,
44 육계, 양돈, 한·육우 및 젖소 등 5개 축종에서 총 470개 농가가 동물복지 인증을 받았으나,
45 평가항목이 복잡하여 인증심사원의 명확한 판단이 결여될 수 있고 주관적인 심사 가능성에 대한
46 우려가 제기되었다[1]. 특히 현행 평가기준에는 ‘충분히’, ‘적합한’, ‘심한’, ‘불쾌감’ 및 ‘정기적’
47 등의 객관적 기준이 모호한 표현이 포함되어 있어, 일부 항목의 평가가 심사자의 주관적이고
48 경험적인 판단에 의존하고 있다.

49 동물복지를 평가하기 위한 지표는 일반적으로 자원 기반 지표(resource-based measures), 관리
50 기반 지표(management-based measures), 동물 기반 지표(animal-based measures)로 구분된다. 자원
51 기반 지표는 사육 면적, 사육 시설, 사료 및 깔짚 등 동물에게 제공된 모든 자원과 환경을 의미하며,
52 관리 기반 지표는 사육 과정에서 동물에게 행해지는 모든 조치와 관리 방식을 의미한다[2]. 이들
53 지표는 평가 방법이 비교적 단순하고 동물복지에 대한 간접적 지표로 활용될 수 있으나[3-4],
54 평가항목에 대한 농장 관리자의 서류상 답변에 의존하므로 농장 동물 복지를 실천하는데 한계가
55 있다[5]. 반면 동물 기반 지표는 제공된 자원과 관리 방법에 따라 동물에게 나타나는
56 생리적·행동적 반응을 의미하며[2], 이를 통해 복지 수준을 직접적으로 평가할 수 있다는 장점이
57 있다[6]. 국내 동물복지축산농장 인증기준의 평가항목은 전 축종이 공통적으로 일반기준, 축종별
58 관리 방법, 사육 시설 및 환경, 동물의 상태 평가로 구성되어 자원, 관리 및 동물 기반 지표를 모두
59 반영하고 있다. 그러나 이 중 동물 기반 지표가 차지하는 비율은 약 10~12%로, 자원 및 관리 기반
60 지표에 비해 적은 편이다.

61 한편, 해외에서는 동물 기반 지표를 반영한 복지 평가 체계의 개발이 활발히 이루어져 왔다.
62 유럽은 Welfare quality® 프로젝트(2004)를 통해 소, 돼지 및 닭 등 주요 가축을 대상으로 좋은

63 사료와 물, 적절한 행동, 좋은 사육환경 및 좋은 건강 상태의 네 가지 항목에 기반한 복지 평가
64 프로토콜을 개발하였으며[7-11], 현재까지도 가장 효과적이고 영향력 있는 동물 기반 복지 평가
65 체계로 간주된다[12]. 이후 후속 연구인 Animal Welfare Indicators (AWIN) Project (2011)를 통해 양,
66 염소, 말, 당나귀, 칠면조와 같이 상대적으로 복지 연구가 부족했던 기타 축종을 대상으로 복지
67 평가 프로토콜이 개발되었다[13-17]. 최근에는 농장 동물의 복지와 정서 간 연관성이 강조됨에
68 따라 동물의 정서에 기반한 행동 양상을 나타낸 질적 행동 평가(Qualitative Behaviour Assessment,
69 QBA)를 현장에 적용하려는 노력이 지속되고 있다[18-21].

70 국내에서도 농장동물복지 평가 과정에서 동물 기반 지표를 도입하기 위한 연구가 일부
71 진행되었으나[22-23], 현재 시행되고 있는 동물복지축산농장 인증기준을 직접적으로 반영한 동물
72 기반 지표의 개발로 이어지지 않았다. 특히 적절한 사육환경이 동물의 자연스러운 행동 표출,
73 동물복지의 증진, 생산성 향상으로 이어질 수 있음에도 불구하고[24-25], 환경관리 항목의 동물
74 기반 지표 적용에 대한 논의는 여전히 부족하다. 따라서 본 논문에서는 국내 한·육우 및 젖소
75 동물복지 인증제도 내 환경관리 평가기준의 현황 및 한계와, 환경관리 수준 평가를 위한 동물 기반
76 지표의 적용 방향에 대해 고찰함으로써 국내 동물복지 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

77
78

79 **국내 축우 (한·육우 및 젖소) 대상 동물복지 인증기준 내 환경관리**

80 **항목 현황**

81 현재 국내에서 시행하고 있는 한·육우와 및 젖소 동물복지축산농장 인증제도의 환경관리
82 평가기준은 각각 4 가지 항목으로 구성되어 있으며, 이 중 3 가지 항목은 각각 조명, 온도, 소음으로
83 동일하다. 반면 한·육우 평가기준의 환기 항목이 젖소 평가기준에서 공기오염도 항목으로
84 대체되었으며, 이 과정에서 습도 평가기준이 삭제되었다. 본 논문에서는 국내 인증제도의
85 환경관리 항목과 동일한 환경요소를 고찰하였다.

86 환경요소가 소의 복지에 미치는 영향

87 1. 조명

88 적절한 조명 수준은 농장 내 작업자에게 안전한 작업 환경을 제공할 뿐만 아니라[26], 소의
89 생산성 향상[27-29], 건강 증진[30], 서열 형성과 외상 발생 예방[31] 등 소의 복지에도 중요하다.
90 소의 안구는 휘판(Tapetum lucidum)이라는 안구 반사 구조를 통해 망막으로 들어온 빛을
91 재반사하여 다시 망막에 도달하게 한다[32]. 이렇듯 빛에 대한 두 번의 자극을 통해 동물은 민감한
92 시력을 갖게 되어 어두운 환경에서 사료 섭취 및 활동이 가능하나, 지나치게 밝은 환경에서는 시력
93 저하가 발생할 수 있다[32]. 한편, 소는 약 330°의 광범위한 단안시와 25~50°의 양안시를 통해
94 주변을 인지할 수 있다[33]. 이로 인해 소는 넓은 수평 영역을 탐색하여 포식자의 유무를 감지할 수
95 있으나, 입체적인 이미지를 생성하는 능력이 떨어져 3차원 구조를 인식하기 어렵고 깊이 인식에
96 취약하다[33-34].

97 일부 연구를 통해 조도나 광주기와 같은 조명 환경의 변화가 젖소의 산유량 및 유지방량과
98 암송아지의 성숙속을 개선하는 것으로 보고되었으나[27, 28, 29, 35], 조명 환경에 대한 영향이
99 생산성에 국한되어 있어 소의 복지 수준을 평가하기에는 적절하지 않다. 사육시설 내 환경 요소에
100 대한 소의 복지 수준은 눕기, 보행, 발성, 표정 및 신체 자세 등의 행동 지표를 통해 평가할 수
101 있다[36]. 이와 관련하여 조명 환경이 소의 행동에 미치는 영향을 확인한 연구가 진행된 바 있으며,
102 불균일한 조명, 강한 명암 대비, 반사광 등의 시각적 요소는 소의 이동을 방해하거나 중단시키는
103 등 부정적인 보행 행동을 유발하는 것으로 나타났다[37-40]. 이는 밝은 빛과 깊이 지각에 취약한
104 소의 시각적 특성상, 반사면이나 그림자와 같이 강한 시각적 대비 요소가 구멍이나 장애물로
105 인식되어 소에게 불안감과 두려움을 초래했기 때문으로 시사된다.

106 2. 환기 및 공기오염도

107 축사 내 공기에는 암모니아(NH_3), 황화수소(H_2S) 등의 가스 성분이나 먼지와 같은 다양한
108 오염물질이 포함되어 있다[41-42]. 이러한 오염물질은 가축 사육두수, 깔짚 상태, 위생 관리, 환기

109 수준, 사료 관리 등 다양한 요인에 의해 발생한다[41, 43, 44]. 오염된 공기는 축사 내부에 잔류하여
110 가축의 질병과 폐사의 원인이 되며[42], 외부로 배출될 경우 인근 지역의 환경오염과 주민의 건강
111 문제를 유발할 수 있다[45-46].

112 암모니아는 소 사육 환경에서 발생하는 주요 오염물질로, 반추위 내 불균형한 질소 대사와
113 단백질 과잉 공급으로 인해 분뇨로 배출된 질소가 공기 중 암모니아로 전환되어 형성된다[42, 47,
114 48, 49, 50]. 공기 중 암모니아는 가축의 폐 조직 내 미생물총을 교란하여 폐 조직과 점막을
115 손상시키고[51], 섬모 상피세포의 수를 감소시켜 호흡기 질환을 유발한다[52]. 또한 높은
116 반응성으로 인해 공기 중 황산 및 질산과 결합하여 황산암모늄, 중황산암모늄, 질산암모늄 등
117 초미세먼지(PM 2.5)를 형성하여, 가축과 인체 건강에 악영향을 미친다[53-54].

118 습도는 공기 중 오염물질[55-56]과 쾌적 수준[57-58] 등 공기질과 밀접한 관련이 있다. 부적절한
119 상대 습도는 호흡기를 손상시켜 병원체 감염에 취약한 환경을 조성하고[59], 안구 건조 증상과
120 피부 습진, 피부 손상 등의 질환을 유발한다[60-63]. 상대습도가 높을수록 공기 중 바이러스의
121 전파율이 감소하는 반면[64-65], 사료 내 곰팡이 증식은 증가하는 것으로 나타났다[66]. 또한,
122 온도와 함께 작용하여 가축의 온도 스트레스에도 기여하는 것으로 나타났다[67].

123 먼지는 사료[68], 건조된 분뇨[69], 동물의 털과 피부로부터 발생하며[71], 축사에서 배출되는
124 오염물질로서 오랫동안 연구되어 왔다[42]. 먼지로 인한 소 호흡기 질환, 급성 간질성 폐렴과 같은
125 호흡기 질병은 가축의 폐사로 이어져 농장의 경제적 손실을 초래한다[71]. 또한 농장 작업자와
126 인근 주민의 호흡기 질병 발생과도 관련 있는 것으로 나타났다[72-74].

127 3. 온도

128 지구온난화로 인해 전 세계적으로 이상기온이 심화됨에 따라[75], 온도 관리가 가축 사육에서
129 점차 중요해지고 있다. 가축의 온도 스트레스는 생산성 저하[76-78], 산화 스트레스 유도[79],
130 번식능력 저하[80-81], 면역학적 이상[82-83] 등 다양한 생리적 장애를 유발하며, 심할 경우 폐사에

131 이를 수 있다[77, 84, 85]. 특히 반추동물은 반추위 발효 중에 발생하는 다량의 열을 효율적으로
132 발산해야 하므로 다른 축종보다 고온 스트레스에 취약하다[86].

133 온도의 경우, 소의 행동 및 생산성에 직결되는 환경요소로서 조명, 환기 및 소음에 비해 선행
134 연구에서 집중적으로 다루어져 왔다. 인간과 동물이 추가적인 에너지 소모나 수분 증발 없이, 복사,
135 대류, 전도와 같은 현열 손실만으로 체온을 유지할 수 있는 온도 범위를 온열중성대(Thermoneutral
136 zone, TNZ)라고 하며[87-88], 이 범위의 상한과 하한을 각각 상한임계온도, 하한임계온도라고
137 한다[89]. 상한임계온도를 초과하면 소는 고온 스트레스를 겪기 시작하며[90], 발한, 헐떡임,
138 호흡수 증가 등의 수분 증발을 통해 열을 방출한다[88, 91, 92, 93]. 특히 반추동물은 반추위 발효를
139 통해 체열의 3~8%를 생성하므로[94], 열 부담을 줄이기 위해 사료 섭취를 거부하고 반추 시간을
140 감소시킨다[95-96]. 또한 수분 증발로 인한 탈수를 막고 직접적인 냉각을 위해 물 섭취량이
141 증가하며[97-98], 표면적 노출을 통한 열 발산을 위해 기립 시간이 증가한다[99]. 여름철 고온
142 환경에서 소는 체내 열 생산을 줄이기 위한 기전으로서 사료 섭취(5.38%), 반추(6.23%) 및
143 휴식(17.33%) 시간이 감소하였으며[100], 고온 스트레스 수준에 따라 비육우의 일당 증체량이
144 최대 75.32%까지 감소됨을 확인한 바 있다[101]. 또한 사육 및 도축 과정에서 발생한 고온
145 스트레스는 PSE 육과 DFD 육 출현율의 증가로 이어지는 것으로 나타났다[102-104]. 한편, 환경
146 온도가 하한임계온도보다 낮아지면 소는 저온 스트레스에 노출되고, 체온 유지를 위해 열을
147 생산한다[105-106]. 체온 유지를 위해 사료 섭취량과 누워있는 시간이 증가하며[78], 골격근의
148 비자발적인 수축과 떨림을 통해 생성된 열로 주변 조직과 혈액을 따뜻하게 한다[107]. 특히
149 송아지는 육성우나 성우에 비해 하한임계온도가 높고[108], 반추위 발효에 의한 체내 열 생산이
150 제한적이며[109], 부피 대비 체표면적이 넓어 열 손실에 취약해[110] 저온 스트레스로 인한 피해가
151 큰 편이다. 젖소의 경우 산유량과 유지방량 감소, 생식기능 저하와 같이 생산성 측면에서도
152 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다[111]. 일반적으로 국내에서 사육되는 한우의 사육

153 적온은 4~20°C, 상한임계온도와 하한임계온도는 각각 26~30°C와 -10°C이며[112], 젖소의 경우
154 사육 적온은 5~20°C, 상한임계온도와 하한임계온도는 각각 25~27°C와 -24~-40°C에 해당한다[113].
155 소의 고온 스트레스는 주로 온도와 습도를 통해 산출된 온습도지수(Temperature-Humidity Index,
156 THI)를 통해 평가되며, 가축 사육을 위한 적정 THI 범위는 22.2 미만, 68 미만, 70 미만, 72 미만, 82
157 미만 등 산출 공식과 축종에 따라 다양하다[114]. 현재 우리나라는 국립축산과학원의
158 가축사육기상정보시스템을 통해 기온과 상대습도로 계산한 축종별 THI 를 제공하고 있으며,
159 한우와 젖소 사육에 대한 적정 THI 는 72 미만이다. 반면 저온 스트레스는 온도와 풍속을 통해
160 계산된 풍냉지수(Wind Chill Temperature, WCT)를 통해 정량화된다[115].

161 4. 소음

162 소음은 가축의 불안감과 스트레스를 유발하는 주요 요인 중 하나로, 사육[116], 운송[117] 및
163 도축 과정[118] 등 축산업 전반에 걸쳐 발생한다. 특히 사육 과정에서 발생하는 설비 운영, 사육
164 관리, 착유, 동물의 행동과 발성 등 일상적 활동이 주요 소음원으로 작용하며[119-120], 발파[121],
165 항공기[122], 차량[123] 소음 등 농장 차원에서 관리하기 어려운 외부 소음도 가축의 소음
166 스트레스에 영향을 미친다.

167 소음은 소리의 높낮이를 나타내는 주파수(Hz)와 세기를 나타내는 강도(dB)를 통해 정량화된다.
168 주파수는 가청 범위를 결정하는 소리의 진동수로, 인간은 20 Hz~20 kHz [124], 소는 23 Hz~35
169 kHz 의 소리를 인식할 수 있다[125]. 특히 소는 고주파 소리를 감지하는 능력이 인간보다 뛰어나며,
170 8 kHz 의 소리에 가장 민감한 것으로 나타났다[125]. 가축의 소리 인식과 스트레스는 주파수뿐만
171 아니라 소리의 세기에도 영향을 받는데[126], 소가 85~100 dB 이상의 소음에 노출되면 불안,
172 심박수 증가, 움직임 변화 등의 반응을 보이며, 110 dB 이상에서는 청각 기관에 물리적 손상이
173 발생할 수 있다[127-128].

174 소를 다양한 소음에 노출한 결과, 기계로부터 발생한 소음보다 동물의 발성과 같은 생물학적
175 소음에[127, 129], 그리고 지속적이고 반복되는 소음보다 불규칙하고 갑작스러운 소음에[39] 더

176 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 취급 도중 지속적인 사람의 고함 소리에 노출될 경우 자극이
177 없거나 빗질, 간식과 같은 긍정적인 자극에 노출된 소에 비해 걸음 속도가 현저히 감소하였다[130].
178 또한 금속이 부딪치는 소리와 사람의 음성에도 노출된 소는 심박수와 움직임이 증가하였으며,
179 이러한 반응은 갑작스러운 자극에 대한 두려움으로부터 기인한 것으로 보인다[127]. 한편, 소는
180 두렵거나 놀랐을 때 좁은 원 모양으로 뭉치거나, 갑작스럽게 정지하는 행동을 보이는데, 트럭
181 소음에 노출된 소들에게서도 이러한 양상이 관찰되었다[39]. 반면 공사장, 도로, 비행기 등 외부
182 소음원은 농장 차원에서 통제하기 어려워 가축의 복지 문제로 연결될 수 있다. 국내 축산
183 농가에서는 최근까지도 외부 소음으로 인한 환경 분쟁이 지속되고 있다. 2022 년 인근 터널
184 공사장으로부터 발생한 차량 소음과 진동이 한우의 기형 출산, 유·사산, 성장 장애 및 출하 등급
185 저하의 원인으로 인정된 바 있다[131]. 이듬해인 2023 년에는 도로 건설 현장의 발파 소음으로
186 인한 인근 한우 농가의 유·사산 및 수태율 저하가 피해 사례로 입증되었다[132].

187

188 **국내 한·육우 및 젖소 동물복지 인증기준 내 환경관리 평가기준의 한계**

189 **1. 조명**

190 동물의 생리적 욕구 충족을 위한 조도 수준은 최소 100~160 lux 이며[133], 영국, 네덜란드, 호주
191 등 세계 각국의 동물복지 인증기준 또한 육우와 젖소 축사 내 50~200 lux 이상의 조도를 권장하고
192 있다[134-138]. 국내 평가기준 또한 한·육우와 젖소의 축사 내 조도 수준을 100 lux 이상으로
193 명시하고 있으며, 작업자의 시인성과 안전성을 고려한 기준으로 볼 수 있다(Table 1). 그러나 소는
194 강한 빛 반사, 대비 및 불균일한 조명에 취약한 시각적 특성을 지니고 있기 때문에, 조도
195 기준만으로 조명 환경이 소의 복지에 미치는 영향을 충분히 반영하기에는 다소 한계가 있다. 또한
196 평가기준에는 50 lux 이하의 어두운 휴식 공간을 제공할 것이 명시되어 있는데, 국내 소 사육
197 형태의 대다수를 차지하는 개방형 우사 구조는 자연광 유입이 자유로워 해당 기준을 현실적으로
198 충족하기 어려운 환경이다. 이에 따라 향후 한·육우 및 젖소의 조명 평가기준은 조도 기준뿐만

199 아니라, 소의 시각적 특성과 구조적 문제를 고려한 복지 평가 지표 도입에 대한 논의가 필요할
200 것으로 보인다.

201 2. 환기 및 공기오염도

202 일부 문헌에서는 가축에게 해롭지 않은 수준의 농장 내 유해가스 및 먼지 농도에 대한 정량적
203 기준을 제시하고 있다. 암모니아의 경우, 대부분의 기준에서 허용 농도를 20~26 ppm 이하로
204 제시하였으며, 일부 인증기준은 허용 농도와 함께 최적 농도를 10 ppm 으로 제시한다[126, 127,
205 130, 131, 132, 133, 134]. 습도의 경우 80% 이하로 유지하거나[134, 135, 141, 142], 온도와 결합한
206 온습도지수를 통해 습도 기준을 제시한다[143]. 먼지 농도는 10 mg/m³ 이하로 유지할 것을
207 권장하며, 영국의 RSPCA 는 먼지와 악취 수준에 대한 평가자의 관능평가 기준을 함께 제시하고
208 있다[134, 135, 141, 142]. 네덜란드는 정량적 수치 대신 가축에게 불쾌하지 않을 수준의 공기질을
209 제공하도록 명시하고 있다[136, 137].

210 한·육우 및 젓소 평가기준은 유해가스에 대하여 암모니아 허용 농도만을 제시하며, 해외 기준과
211 동일하게 25ppm 으로 규정하고 있다. 다만 실제 농장 환경에서는 암모니아 외에도 황 화합물, 질소
212 화합물 등 다양한 유해가스가 발생할 수 있어[144], 현장 여건에 따른 폭넓은 유해가스 농도 기준
213 설정에 대한 논의가 가능할 것으로 보인다. 또한 젓소는 한·육우와 달리 상대습도에 대한 기준이
214 제외되었으나, 고온다습한 환경에 취약한 홀스타인 품종이 국내 젓소의 대부분을 차지하는 만큼,
215 습도 기준의 적용 여부에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다. 먼지와 악취는 평가자의 관능평가에
216 따라 0~5 점으로 채점되며, 평가자의 신속한 판단과 현장 적용에 적합하다. 그러나 평가 결과가
217 일시적인 관리와 평가자의 주관적 기준의 영향을 받을 수 있다. 이에 따라, 장기적으로 농장
218 환경에 노출되는 소의 신체적 반응을 고려한 평가 지표가 병행된다면, 실질적인 복지 수준을
219 평가하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

220 3. 온도

221 한·육우 및 젖소의 온도 관리 평가는 온도 관리 시설의 존재 여부, 운영 상태 및 일일 온도 기록을
222 중심으로 이루어지고 있다(Table 1). 이는 농장의 전반적인 관리 실태를 파악하고 빠르게 평가가
223 가능하다는 장점이 있으나, 온도 관리 시설의 효과는 종류[145-146], 수량[147], 설치 방법[148] 등
224 다양한 요인에 따라 변화할 수 있다. 또한, 소의 온도 스트레스는 온도, 습도 및 풍속뿐만 아니라
225 털의 특징[149], 품종[150] 및 체형[151] 등 다양한 요인이 복합적으로 영향을 미치므로, 동일한
226 환경에서도 개체별 체감 온도와 스트레스 수준에 차이가 발생할 수 있다. 따라서 단순히 시설의
227 구비 여부만으로는 소의 온도 스트레스 수준 효과적으로 평가하기 어렵다. 한편, 저온 관리 항목의
228 배점은 0~5 점으로 세분화 되어있는 반면, 고온 관리 항목은 적합 또는 부적합만으로 평가되고
229 있다. 고온 환경에 취약한 반추동물의 특성을 고려할 때, 농가는 형식적인 시설 구비만으로도 적합
230 판정을 받는 모순적인 상황이 발생할 수 있다. 따라서 고온 관리 항목의 배점 기준을 세분화하고,
231 소의 행동 반응을 평가에 적용한다면 평가의 객관성과 실효성 향상에 기여할 수 있으나, 이러한
232 방법은 현장에서 시간적 부담과 계절적 제한이 수반되므로, 향후 현실적으로 현장에 적용 가능한
233 지표의 개발이 필요할 것으로 보인다.

234 4. 소음

235 농장 내외에서 발생한 다양한 소음은 소의 정서와 행동, 생산성에 영향을 미치며, 소의 복지
236 평가의 중요한 요소로 작용할 수 있다. 영국과 미국에서는 소에게 스트레스를 유발할 만한 소음을
237 지양하고 소음 방지 설비를 설치하도록 권장하고 있다[134, 135, 141, 142]. 우리나라 역시
238 지속적이고 불쾌한 소음, 소음 유발 설비의 관리 여부 등을 기준으로 평가를 수행하고
239 있으나(Table 1), 소음에 대한 정량적 기준의 부재와 평가자의 주관적인 평가에 의존하는 점은
240 보완이 필요할 것으로 보인다. 특히 소는 인간보다 넓은 가청 범위로 인간이 인지하지 못하는
241 고주파 소음에 대한 영향을 평가에 고려할 필요가 있다[120]. 따라서 소음의 정량적 기준을
242 마련하고, 소음에 따른 소의 반응을 동물 기반 지표로 활용한다면 소음 스트레스에 대한 정밀한
243 복지 평가가 가능할 것으로 보인다.

245 환경관리 수준 평가를 위한 동물 기반 지표의 적용 방향

246 1. 조명

247 적절한 조도 설정은 젖소의 산유성적을 개선할 수 있으나[27-29], 산유성적 자체가 소의 복지
 248 수준을 직접적으로 반영하지는 않으며, 조명에 대한 영향을 현장에서 즉각적으로 확인하기
 249 어려워 복지 평가 지표로서의 활용에는 한계가 있다. 조명이 소의 행동과 복지에 미치는 영향은
 250 주로 조명 상황에 따른 소의 보행 행동을 통해 관찰되었다[27, 37, 39, 152, 153, 154]. 조도가 0
 251 lux 에 가까운 환경에서는 시야 확보가 어려워 자주 정지하거나 보폭이 짧아지고, 동시에 걸음
 252 속도가 증가하는 경향을 보였다[152-153]. 또한, 젖은 바닥에서 반사된 빛의 휘도가 높아지거나
 253 햇빛에 의해 바닥의 명암 대비가 뚜렷할수록 소는 정지하거나 이동을 주저하는 경향을 보였다[38,
 254 146]. 사육 시설 내 일부 구간에만 조명이 점등된 불균일한 조명 환경에서는 장애물 앞에서 이동
 255 속도를 줄이고 주변을 살피는 등 소의 행동이 보다 조심스러운 것으로 나타났다[37]. 이처럼 조도,
 256 휘도, 명암 대비 및 조명의 균일성 등 조명 환경 요소는 소의 인지와 행동 반응에 직접적인 영향을
 257 미치며, 이는 장애물 회피나 보행의 주저와 같은 행동학적 지표로 나타난다. 따라서 소의 보행
 258 행동을 조명 환경에 대한 동물 기반 지표로 활용할 경우, 현장에서의 즉각적인 평가가 가능하며,
 259 소의 반응을 통해 부적절한 조명 환경을 개선할 수 있다는 점에서 실질적인 복지 향상에 기여할
 260 것으로 보인다.

261 2. 환기 및 공기오염도

262 암모니아와 같은 고농도의 유해가스에 노출된 소는 눈물, 콧물, 기침 등의 증상을 동반하며[155],
 263 심각한 경우 각막에 궤양이 발생할 수 있다[140]. 대부분의 동물복지 인증기준은 암모니아 허용
 264 농도를 25 ppm 이하로 제시한 반면, 송아지의 경우 6~10 ppm 이하가 적절하다는 연구 결과가
 265 보고된 바 있다[156-157] 또한 암모니아의 유해성은 농도뿐만 아니라 노출 시간, 공기 중
 266 오염물질의 존재 여부 등 다양한 환경 요인에 의해 달라진다[158]. 한편, 습도는 온도와 함께

267 작용해 소의 고온 스트레스를 유발하고[159], 병원체의 공기 중 전파율과 생존율에도 영향을 미쳐
268 질병 발생 위험을 높일 수 있다[59]. 일부 문헌에서 공기 오염도는 시야 확보 수준 평가[160],
269 평가자의 호흡과 기침 수준 평가[134-135], 먼지 시트 테스트[161]와 같은 평가자의 관능평가를
270 통해 평가하고 있다. 그러나 이에 대한 소의 신체적 · 행동적 반응을 다룬 연구는 다른 환경
271 평가항목에 비해 제한적이다. 따라서 오염된 공기로 인해 발생하는 소의 신체적 증상에 관한
272 추가적인 연구가 필요하다.

273 3. 온도

274 동일한 환경에서 소의 체감온도는 털의 특징[149], 품종[150] 및 체형[151]과 같은 개체 특성에
275 따라 달라질 수 있다. 또한, 온도 관리 시설의 효과는 종류[145-146], 수량[147], 설치 방법[148] 등
276 여러 요인의 영향을 받는다. 이처럼 다양한 변수가 복합적으로 작용하기 때문에, 단순히 시설
277 관리와 환경 지표만으로 소의 스트레스 수준을 정확히 평가하기는 어렵다. 헐떡임 점수(Panting
278 score)는 고온 환경에서 나타나는 소의 호흡 반응을 수치화한 지표로, 여러 연구에서 소의 고온
279 스트레스 평가 지표로써 활용되었다[162-164]. 이 지표는 헐떡임, 혀 내밀기, 호흡수 및 고개
280 움직임과 같은 증상에 따라 0 점에서 4.5 점의 범위로 평가된다[162-164]. 특히 고온 상태에서 소의
281 호흡수 및 체온과 유의한 상관관계를 보여 소의 고온 스트레스 수준을 평가하는 데 적합한 것으로
282 나타났다[165]. 한편, 소의 저온 스트레스 평가에 활용되는 지표로는 떨림 점수(Shivering score)가
283 있다[166-167]. 이 지표는 다리와 몸통 근육의 떨림을 중심으로 소의 저온 스트레스 수준을 3 점
284 척도로 나타내었다. 또 다른 연구에서는 저온 환경에 노출된 소의 반응을 각각 증상 없음, 웅크림,
285 몸의 떨림으로 구분하여 0~2 점으로 평가한 바 있다[168]. 그러나 이들 지표는 떨림과 웅크림
286 수준에 대한 명확한 기준이 없어 평가자 간 일관성이 떨어질 수 있다. 소는 저온 환경에서
287 떨림이나 웅크림 외에도 군집행동[168], 사료 섭취 및 누워있는 시간 증가[78]와 같은 다양한 행동
288 변화를 보인다. 이처럼 다양한 저온 스트레스 반응을 적용하여 지표를 재구성한다면 신뢰성 있는
289 온도 평가 지표를 개발할 수 있을 것이다. 한편, 국내에서 사육되는 한·육우 및 젖소에 대한 해당

290 지표들의 정확성은 아직 검증된 바 없다. 국내 사육 가축을 대상으로 추가적인 연구를 통해 해당
291 지표를 국내 실정에 맞도록 조정한다면 향후 복지 평가 지표로서의 활용을 기대할 수 있을 것으로
292 보인다.

293 4. 소음

294 일반적으로 소음 수준이 80 dB 이상일 때, 소는 과도한 불안과 함께 심박수가 증가하고 사료
295 섭취량이 감소하며, 90~95 dB 에서 잦은 배변, 근육 긴장, 반추위 수축 감소 등의 증상을
296 동반한다[169]. 소음 수준이 100 dB 을 초과하면 혈액 성상이 변화하고[169], 110 dB 이상에서 소의
297 청각 기관에 물리적 손상이 발생한다[128]. 그러나 이러한 증상은 현장에서의 즉각적인 평가가
298 어려우며, 소음의 세기와 주파수 외에도 발생 원인, 지속성 등에 따라 스트레스 수준이 달라질 수
299 있으므로, 새로운 동물 기반 지표를 평가에 활용할 필요가 있다. 선행 연구에 따르면, 소는 고주파
300 또는 세기가 센 소음[130], 동물과 인간으로부터 발생한 생물학적 소음[127, 129] 및 갑작스럽고
301 불규칙한 소음[39]에 취약한 것으로 나타났다. 소음에 대한 반응은 주로 심박수 증가[127, 170],
302 놀라서 거칠어진 행동[129], 정지, 좁은 원 모양으로 멍치는 행동 및 보행 거부[39] 등으로
303 나타났는데, 이러한 변화는 소음 이외의 요인으로도 발생할 수 있다[171-172]. 한편, 동물은 소리에
304 반응할 때 소리의 근원을 향해 고개나 귀를 돌려 주의를 기울이는 프라이어 반사(Pryer reflex)가
305 나타난다[120]. 프라이어 반사는 소리에 대한 동물의 명확한 반응으로서 소리의 감지 유무를
306 확인할 때 활용되므로[173-174], 이를 통해 소음으로 인한 이상행동을 구별하여 소음 스트레스
307 평가의 정확성을 높일 수 있을 것이다.

308

309 **결론**

310 국내 동물복지축산농장 인증제의 일부 평가항목은 평가과정에서 평가자의 주관적인 판단과
311 경험에 의존하며, 동물 기반 지표의 부족으로 동물의 직접적인 복지 수준을 객관적이고 정확하게
312 평가하기 어렵다는 우려가 제기되었다. 특히 동물복지 수준이 사육환경에 따라 영향을 받지만,
313 환경관리 항목의 동물 기반 지표 적용에 대한 심도있는 검토 및 논의는 미흡하다. 따라서, 본
314 논문은 국내 한·육우 및 젖소 동물복지 인증제도 내 환경관리 평가기준의 한계점과 동물 기반
315 지표의 적용 방향에 대하여 고찰하였다. 한·육우 및 젖소 동물복지 인증제도의 환경관리
316 평가항목은 조명, 환기 및 공기오염도, 온도 및 소음의 네 가지로 구성되며, 소의 신체적 특성 반영
317 미흡, 평가자의 주관적 관능평가, 시설 현황과 기록에 의존 등의 한계가 확인되었다. 이러한
318 한계를 해결하기 위한 방안으로써 각 항목에 대한 동물 기반 지표의 적용 방향을 논의하였다. 소는
319 강한 빛 반사, 명암 대비 및 불균일한 조명에 취약하며, 이러한 조명 환경에서 정지, 보폭 변화,
320 이동 속도 증가, 장애물 회피 및 보행 중 망설임과 같은 행동학적 변화를 나타냈다. 유해가스와
321 먼지 등 공기 중 오염물질로 인해 소에게서 눈물, 콧물, 기침 및 각막 궤양이 발생할 수 있으며,
322 향후 공기질과 이들 증상에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 온도의 경우, 온도 스트레스로 인한
323 소의 신체적 반응에 기인하여 혈떡임 점수, 떨림 점수와 같은 평가 지표가 여러 연구에서 활용된
324 바 있으며, 향후 국내에서 사육되는 품종에 대한 추가적인 검증을 수행할 필요가 있다. 한편, 소는
325 농장 내외부로부터 발생하는 고주파 소음, 생물학적 소음, 간헐적이고 갑작스러운 소음 등에
326 취약하며 심박수 증가, 거친 행동, 정지, 무리끼리 뭉침, 보행 거부와 같은 증상을 나타내었다.
327 이처럼 사육환경에 대한 소의 신체적 반응은 실제 복지 수준을 반영하는 중요한 지표로서 활용될
328 수 있다. 반면에 이러한 반응은 하나의 요인이 아닌 여러 요인이 복합적으로 작용하여 나타나는
329 경우가 많다. 따라서 신체 반응에 영향을 주는 단일 요인 및 복합적 요인들을 모두 반영한 국내
330 환경에 적합한 동물 기반 지표를 개발 및 검증함으로써, 국내 동물복지축산농장 인증제도의
331 객관성과 실효성을 높이기 위한 노력이 지속되어야 한다.

ACCEPTED

References

- 334 1. Kim SY. Developing the customized policy instruments for the improvement of animal
335 welfare: with emphasis on farm animal welfare policy. *Korean Policy Sci Rev.*
336 2018;22(3):101-33.
- 337 2. EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW). Statement on the use of animal-based
338 measures to assess the welfare of animals. *EFSA Journal.* 2012;10(6):2767-96.
339 <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2767>
- 340 3. Winckler C. On-farm welfare assessment in cattle—From basic concepts to feasible
341 assessment systems. In: *Proceedings of the 4th World Buiatrics Congress; 2006; Nice, France.*
- 342 4. Spigarelli C, Zuliani A., Battini M, Mattiello S, Bovolenta S. Welfare assessment on pasture:
343 A review on animal-based measures for ruminants. *Animals.* 2020;10(4):609.
344 <https://doi.org/10.3390/ani10040609>
- 345 5. Czycholl I, Buttner K, Grosse Beilage E, Krieter J. Review of the assessment of animal
346 welfare with special emphasis on the “Welfare Quality® animal welfare assessment protocol
347 for growing pigs”. *Arch Anim Breed.* 2015;58(2):237-49. [https://doi.org/10.5194/aab-58-237-](https://doi.org/10.5194/aab-58-237-2015)
348 [2015](https://doi.org/10.5194/aab-58-237-2015)
- 349 6. Main DCJ, Kent JP, Wemelsfelder F, Ofner E, Tuytens FAM. Applications for methods of
350 on- farm welfare assessment. *Anim Welf.* 2003;12(4):523–8.
351 <https://doi.org/10.1017/S0962728600026129>
- 352 7. Welfare Quality. Welfare Quality Assessment protocol for cattle. Version 3.0. Welfare
353 Quality Network. 2023 [cited 2025 May 9].
354 <https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1320/fattening-cattle-protocol.pdf>
- 355 8. Welfare Quality. Welfare Quality Assessment protocol for dairy cows. Version 3.1. Welfare
356 Quality Network. 2024 [cited 2025 May 9].
357 <https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1319/dairy-cattle-protocol.pdf>
- 358 9. Welfare Quality®. Welfare Quality® assessment protocol for pigs (sows and piglets, growing
359 and finishing pigs). Welfare Quality® Consortium. 2009 [cited 2025 May 9].
360 https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1018/pig_protocol.pdf
- 361 10. Welfare Quality®. Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens).
362 Welfare Quality® Consortium. 2009 [cited 2025 May 9].
363 [https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1293/poultry-protocol-watermark-6-2-](https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1293/poultry-protocol-watermark-6-2-2020.pdf)
364 [2020.pdf](https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1293/poultry-protocol-watermark-6-2-2020.pdf)

- 365 11. Welfare Quality Network. Welfare Quality assessment protocol for laying hens, version 2.0.
366 Welfare Quality Network. 2019 [cited 2025 May 9].
367 https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1294/wq_laying_hen_protocol_20_def-
368 [december-2019.pdf](https://www.welfarequalitynetwork.net/media/1294/wq_laying_hen_protocol_20_def-december-2019.pdf)
- 369 12. Brscic M, Contiero B, Magrin L, Riuzzi G, Gottardo F. The use of the general animal-based
370 measures codified terms in the scientific literature on farm animal welfare. *Front vet sci.*
371 2021;8:634498. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.634498>
- 372 13. AWIN. AWIN welfare assessment protocol for turkeys. *Animal Welfare Indicators.* 2015
373 [cited 2025 May 9]. https://dx.doi.org/10.13130/AWIN_TURKEYS_2015
- 374 14. AWIN. AWIN welfare assessment protocol for sheep. *Animal Welfare Indicators.* 2015
375 [cited 2025 May 9]. https://dx.doi.org/10.13130/AWIN_sheep_2015
- 376 15. AWIN. AWIN welfare assessment protocol for horses. *Animal Welfare Indicators.* 2015
377 [cited 2025 May 9]. https://dx.doi.org/10.13130/AWIN_horses_2015
- 378 16. AWIN. AWIN welfare assessment protocol for goats. *Animal Welfare Indicators.* 2015
379 [cited 2025 May 9]. https://dx.doi.org/10.13130/AWIN_goats_2015
- 380 17. AWIN. AWIN welfare assessment protocol for donkeys. *Animal Welfare Indicators.* 2015
381 [cited 2025 May 9]. https://dx.doi.org/10.13130/AWIN_donkeys_2015
- 382 18. Wemelsfelder F, Hunter EA, Mendl MT, Lawrence, AB. The spontaneous qualitative
383 assessment of behavioural expressions in pigs: first explorations of a novel methodology for
384 integrative animal welfare measurement. *Appl Anim Behav Sci.* 2000;67(3):193-215.
385 [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(99\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(99)00093-3)
- 386 19. Wemelsfelder F, Hunter TEA, Mendl MT, Lawrence AB. Assessing the ‘whole animal’: A
387 free choice profiling approach. *Anim Behav.* 2001;62(2):209-20.
388 <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1741>
- 389 20. Cooper R, Wemelsfelder F. Qualitative behaviour assessment as an indicator of animal
390 emotional welfare in farm assurance. *Livestock.* 2020;25(4):180-3.
391 <https://doi.org/10.12968/live.2020.25.4.180>
- 392 21. Cooke AS, Mullan SM, Morten C, Hockenhull J, Lee MRF, Cardenas LM, Rivero MJ. V-
393 QBA vs. QBA—How do video and live analysis compare for Qualitative Behaviour
394 Assessment?. *Front Vet Sci.* 2022;9:832239. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.832239>

- 395 22. Kim DH, Ha DM. Comparison of farrowing sow and piglet vocalizations between welfare
396 certified farm and conventional pig farm. *Ann Anim Resour Sci.* 2018;29(2):77-84.
397 <https://doi.org/10.12718/AARS.2018.29.2.77>
- 398 23. Jang SY. A study on the application of animal based criteria assessment protocol for animal
399 welfare for cattle in Korea [Ph.D. dissertation]. Korea: Konkuk University; 2023.
- 400 24. Koknaroglu H, Akunal T. Animal welfare: An animal science approach. *Meat Sci.*
401 2013;95(4):821-7. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.04.030>
- 402 25. Li B, Wang Y, Rong L, Zheng W. Research progress on animal environment and welfare.
403 *Anim Res One Health.* 2023;1(1):78-91. <https://doi.org/10.1002/aro2.16>
- 404 26. Gustafsson B. The health and safety of workers in a confined animal system. *Livest Prod Sci.*
405 1997;49(2):191-202. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(97\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(97)00013-4)
- 406 27. Phillips CJC, Schofield SA. The effect of supplementary light on the production and
407 behaviour of dairy cows. *Anim Sci.* 1989;48(2):293-303.
408 <https://doi.org/10.1017/S0003356100040290>
- 409 28. Hjalmarsson F, Olsson I, Ferneborg S, Agenas S, Ternman E. Effect of low light intensity at
410 night on cow traffic in automatic milking systems. *Anim Prod Sci.* 2014;54(10):1784-6.
411 <http://dx.doi.org/10.1071/AN14215>
- 412 29. Lim DH, Kim TI, Park SM, Ki KS, Kim Y. Effects of photoperiod and light intensity on
413 milk production and milk composition of dairy cows in automatic milking system. *J Anim*
414 *Sci Technol.* 2021;63(3):626-39. <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e59>
- 415 30. Adamczyk K, Herbut P, Godyn D, Angrecka S, Kupczynski R, Vieira FMC. Effect of light
416 on dairy cattle in farm conditions—a review. *Ann Anim Sci.* 2024;24(4):1139-51.
417 <https://doi.org/10.2478/aoas-2024-0052>
- 418 31. Penev T, Radev V, Slavov T, Kirov V, Dimov D, Atanassov A, Marinov I. Effect of lighting
419 on the growth, development, behaviour, production and reproduction traits in dairy cows. *Int*
420 *J Curr Microbiol App Sci.* 2014;3(11):798-810.
- 421 32. Ollivier FJ, Samuelson DA, Brooks DE, Lewis PA, Kallberg ME, Komaromy AM.
422 Comparative morphology of the tapetum lucidum (among selected species). *Vet Ophthalmol.*
423 2004;7(1):11-22. <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2004.00318.x>
- 424 33. Proudfoot KL. Bovine Communication, Handling, and Restraint. In: Herron ME, editor.
425 Introduction to animal behavior and veterinary behavioral medicine. New Jersey: Wiley
426 Blackwell; 2024. p. 165.

- 427 34. Stuhltrager J, Von Borell E, Langbein J, Nawroth C, Rorvang MV, Raoult CM. The role of
428 light and vision in farmed ungulates and implications for their welfare. *Front Anim Sci.*
429 2025;5:1433181. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1433181>
- 430 35. Small JA, Glover ND, Kennedy AD, McCaughey WP, Ward DR. Photoperiod effects on the
431 development of beef heifers. *Can J Anim Sci.* 2003;83(4):721-30.
- 432 36. Mattiello S, Battini M, De Rosa G, Napolitano F, Dwyer C. How can we assess positive
433 welfare in ruminants?. *Animals.* 2019;9(10):758. <https://doi.org/10.3390/ani9100758>
- 434 37. Lindkvist S, Ferneborg S, Stahlberg K., Bankestad D, Ekestén B, Agenes S, Ternman E.
435 Effect of light intensity, spectrum, and uniformity on the ability of dairy cows to navigate
436 through an obstacle course. *J Dairy Sci.* 2023;106(11), 7698-710.
437 <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23469>
- 438 38. Grandin T. Observations of cattle behavior applied to the design of cattle-handling facilities.
439 *Appl Anim Ethol.* 1980;6(1):19-31. [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(80\)90091-7](https://doi.org/10.1016/0304-3762(80)90091-7)
- 440 39. Willson DW, Baier FS, Grandin T. An observational field study on the effects of changes in
441 shadow contrasts and noise on cattle movement in a small abattoir. *Meat Sci.*
442 2021;179:108539. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108539>
- 443 40. Grandin T. Factors that impede animal movement at slaughter plants. *J Am Vet Med Assoc.*
444 1996;209(4):757-9.
- 445 41. Popescu S, Borda C, Diugan EA. Microbiological air quality in tie-stall dairy barns and
446 some factors that influence it. *Afr J Agric Res.* 2011;6(32):6726-34.
447 <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1428>
- 448 42. Ni JQ, Erasmus MA, Li C, Li Y. Nine Decades of Scientific Research on Air Pollution
449 Related to Food Animal Health and Welfare. Poster session presented at: 2020 ASABE
450 Annual International Virtual Meeting; 2020 Jul 12-15; Omaha, Nebraska.
- 451 43. Hanafi IN, Tait LA, Cowley FC, Morton JM, Creevey S, Wilkes J. Effect of bedding
452 application and air change rates on environmental ammonia concentrations for intensively
453 housed beef cattle. *Anim Prod Sci.* 2024;64:AN23410. <https://doi.org/10.1071/AN23410>
- 454 44. Kimanzi V, Mburu CM, Njogu PM. Assessment of grain dust management systems among
455 selected animal feed manufacturers in Kiambu County, Kenya. *J Agric Sci Technol.*
456 2022;21(4):44-55. <https://doi.org/10.4314/jagst.v21i4.5>
- 457 45. Borlee F, Yzermans CJ, Aalders B, Rooijackers J, Krop E, Maassen CBM, Schellevis F,
458 Brunekreef B, Heederik D, Smit LAM. Air pollution from livestock farms is associated with

- 459 airway obstruction in neighboring residents. *Am J Respir Crit Care Med.* 2017;196(9):1152-
460 61. <https://doi.org/10.1164/rccm.201701-0021OC>
- 461 46. Wyer KE, Kelleghan DB, Blanes-Vidal V, Schaubeger G, Curran TP. Ammonia emissions
462 from agriculture and their contribution to fine particulate matter: A review of implications
463 for human health. *J Environ Manage.* 2022;323:116285.
464 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116285>
- 465 47. Varel VH. Use of urease inhibitors to control nitrogen loss from livestock waste. *Bioresour*
466 *Technol.* 1997;62(1-2):11-7. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00130-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00130-2)
- 467 48. Bristow AW, Whitehead DC, Cockburn JE. Nitrogenous constituents in the urine of cattle,
468 sheep, and goats. *J Sci Food Agric.* 1992;59(3):387-94.
469 <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740590316>
- 470 49. Mobley HLT, Hausinger RP. Microbial ureases: significance, regulation, and molecular
471 characterization *Microbiol Rev.* 1989;53(1):85-108. [https://doi.org/10.1128/mr.53.1.85-](https://doi.org/10.1128/mr.53.1.85-108.1989)
472 [108.1989](https://doi.org/10.1128/mr.53.1.85-108.1989)
- 473 50. Mobley HLT, Island MD, Hausinger RP. Molecular biology of microbial ureases. *Microbiol*
474 *Rev.* 1995;59(3):451-80. <https://doi.org/10.1128/mr.59.3.451-480.1995>
- 475 51. Wang G, Liu Q, Zhou Y, Feng J, Zhang M. Effects of different ammonia concentrations on
476 pulmonary microbial flora, lung tissue mucosal morphology, inflammatory cytokines, and
477 neurotransmitters of broilers. *Animals*, 2022;12(3):261. <https://doi.org/10.3390/ani12030261>
- 478 52. Brscic M, Prevedello P, Cozzi G, Paparella P, Gottardo F. Concentration of noxious gases in
479 dairy, beef and veal calves farms in Northern Italy. *Acta Agraria Kaposváriensis.*
480 2010;14(2):111-6.
- 481 53. Hristov AN, Hanigan M, Cole A, Todd R, Mcallister TA, Ndegwa PM, Rotz A. Review:
482 ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots. *Can J Anim Sci.* 2011;91(1):1-35.
483 <https://doi.org/10.4141/CJAS10034>
- 484 54. Guo S, Hu M, Zamora ML, Peng J, Shang D, Zheng J, Du Z, Wu Z, Shao M, Zeng L,
485 Molina MJ, Zhang R. Elucidating severe urban haze formation in China. *Proc Natl Acad Sci.*
486 2014;111(49):17373-8. <https://doi.org/10.1073/pnas.1419604111>
- 487 55. Jayamurugan R, Kumaravel B, Palanivelraja S, Chockalingam MP. Influence of temperature,
488 relative humidity and seasonal variability on ambient air quality in a coastal urban area. *Int J*
489 *Atmos Sci.* 2013;2013(1):264046. <https://doi.org/10.1155/2013/264046>

- 490 56. Cheng Y, He KB, Du ZY, Zheng M, Duan FK, Ma YL. Humidity plays an important role in
491 the PM_{2.5} pollution in Beijing. *Environ Pollut.* 2015;197:68-75.
492 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2014.11.028>
- 493 57. Reinikainen LM, Aunela-Tapola L, Jaakkola JJ. Humidification and perceived indoor air
494 quality in the office environment. *Occup Environ Med.* 1997;54(5):322-7.
495 <https://doi.org/10.1136/oem.54.5.322>
- 496 58. Tsutsumi H, Tanabe SI, Harigaya J, Iguchi Y, Nakamura G. Effect of humidity on human
497 comfort and productivity after step changes from warm and humid environment. *Build*
498 *Environ.* 2007;42(12):4034-42. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.037>
- 499 59. Xiong Y, Meng QS, Gao J, Tang XF, Zhang HF. Effects of relative humidity on animal
500 health and welfare. *J Integr Agric.* 2017;16(8):1653-8. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61532-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61532-0)
- 501
- 502 60. Mekjavic PJ, Tipton MJ, Mekjavic IB. The eye in extreme environments. *Exp Physiol.*
503 2020;106(1):52-64. <https://doi.org/10.1113/ep088594>
- 504 61. Fang L, Wyon DP, Clausen G, Fanger PO. Impact of indoor air temperature and humidity in
505 an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance. *Indoor Air.*
506 2004;14(Suppl_7):74-81. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00276.x>
- 507 62. Goad N, Gawkrödger DJ. Ambient humidity and the skin: the impact of air humidity in
508 healthy and diseased states. *J Eur Acad Dermatol Venereol.* 2016;30(8):1285-94.
509 <https://doi.org/10.1111/jdv.13707>
- 510 63. Guarnieri G, Olivieri B, Senna G, Vianello A. Relative humidity and its impact on the
511 immune system and infections. *Int J Mol Sci.* 2023;24(11):9456.
512 <https://doi.org/10.3390/ijms24119456>
- 513 64. Tellier R. Review of aerosol transmission of influenza A virus. *Emerg Infect Dis.*
514 2006;12(11):1657-62. <https://doi.org/10.3201/eid1211.060426>
- 515 65. Lowen AC, Mubareka S, Steel J, Palese P. Influenza virus transmission is dependent on
516 relative humidity and temperature. *PLoS pathogens.* 2007;3(10):e151.
517 <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.0030151>
- 518 66. Greco MV, Franchi ML, Golba SLR, Pardo AG, Pose GN. Mycotoxins and mycotoxigenic
519 fungi in poultry feed for food-producing animals. *Sci World J.* 2014;2014(1):968215.
520 <https://doi.org/10.1155/2014/968215>

- 521 67. Berman A, Horovitz T, Kaim M, Gacitua H. A comparison of THI indices leads to a sensible
522 heat-based heat stress index for shaded cattle that aligns temperature and humidity stress. *Int*
523 *J Biometeorol.* 2016;60:1453-62. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1136-9>
- 524 68. Pearson CC, Sharples TJ. Airborne dust concentrations in livestock buildings and the effect
525 of feed. *J Agric Eng Res.* 1995;60(3):145-54. <https://doi.org/10.1006/jaer.1995.1008>
- 526 69. Amosson SH, Guerrero B, Almas LK. Economic analysis of solid-set sprinklers to control
527 dust in feedlots. In: *Proceedings of the 38th Southern Agricultural Economics Association*
528 *Annual Meeting; 2006; Orlando, Florida.*
- 529 70. Shen D, Wu S, Li Z, Tang Q, Dai P, Li Y, Li C. Distribution and physicochemical properties
530 of particulate matter in swine confinement barns. *Environ Pollut.* 2019;250:746-53.
531 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.086>
- 532 71. Urso PM, Turgeon A, Ribeiro FRB, Smith ZK, Johnson BJ. Review: the effects of dust on
533 feedlot health and production of beef cattle. *J Appl Anim Res.* 2021;49(1):133-8.
534 <https://doi.org/10.1080/09712119.2021.1903476>
- 535 72. Donham KJ. Health effects from work in swine confinement buildings. *Am J Ind Med.*
536 1990;17(1):17-25. <https://doi.org/10.1002/ajim.4700170105>
- 537 73. May S, Romberger DJ, Poole JA. Respiratory health effects of large animal farming
538 environments. *J Toxicol Environ Health, Part B.* 2012;15(8):524-41.
539 <https://doi.org/10.1080/10937404.2012.744288>
- 540 74. Schultz AA, Peppard P, Gangnon RE, Malecki KMC. Residential proximity to concentrated
541 animal feeding operations and allergic and respiratory disease. *Environ Int.*
542 2019;130:104911. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.104911>
- 543 75. Sadhukhan B, Mukherjee S, Samanta RK. A study of global temperature anomalies and their
544 changing trends due to global warming. In: *Proceedings of the 2022 14th International*
545 *Conference on Computational Intelligence and Communication Networks; 2022; Al-Khobar,*
546 *Saudi Arabia.*
- 547 76. Gabler NK, Pearce SC. The impact of heat stress on intestinal function and productivity in
548 grow-finish pigs. *Anim Prod Sci.* 2015;55(12):1403-10. <https://doi.org/10.1071/AN15280>
- 549 77. Liu L, Ren M, Ren K, Jin Y, Yan M. Heat stress impacts on broiler performance: a
550 systematic review and meta-analysis. *Poult Sci.* 2020;99(11):6205-
551 11. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.019>

- 552 78. Wang S, Li Q, Peng J, Niu H. Effects of long-term cold stress on growth performance,
553 behavior, physiological parameters, and energy metabolism in growing beef cattle. *Animals*.
554 2023;13(10):1619. <https://doi.org/10.3390/ani13101619>
- 555 79. Cui Y, Hao Y, Li J, Bao W, Li G, Gao Y, Gu X. Chronic heat stress induces immune
556 response, oxidative stress response, and apoptosis of finishing pig liver: a proteomic
557 approach. *Int J Mol Sci.*, 2016;17(5):393. <https://doi.org/10.3390/ijms17050393>
- 558 80. Sasaki Y, Uematsu M, Kitahara G, Osawa T. Reproductive performance of Japanese Black
559 cattle: Association with herd size, season, and parity in commercial cow-calf operations.
560 *Theriogenology*. 2016;86(9):2156-61. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.07.007>
- 561 81. Sammad A, Umer S, Shi R, Zhu H, Zhao X, Wang Y. Dairy cow reproduction under the
562 influence of heat stress. *J Anim Physiol Anim Nutr.* 2020;104(4):978-86.
563 <https://doi.org/10.1111/jpn.13257>
- 564 82. Huo C, Xiao C, She R, Liu T, Tian J, Dong H, Tian H, Hu Y. Chronic heat stress negatively
565 affects the immune functions of both spleens and intestinal mucosal system in pigs through
566 the inhibition of apoptosis. *Microb Pathog.* 2019;136:103672.
567 <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103672>
- 568 83. Dahl GE, Tao S, Laporta J. Heat stress impacts immune status in cows across the life cycle.
569 *Front Vet Sci.* 2020;7:116. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00116>
- 570 84. Blecha F, Kelley KW. Cold stress reduces the acquisition of colostral immunoglobulin in
571 piglets. *J Anim Sci.* 1981;52(3):594-600. <https://doi.org/10.2527/jas1981.523594x>
- 572 85. Vitali A, Felici A, Esposito S, Bernabucci U, Bertocchi L, Maresca C, Nardone A, Lacetera
573 N. The effect of heat waves on dairy cow mortality. *J Dairy Sci.* 2015;98(7):4572-9.
574 <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9331>
- 575 86. Tajima K, Nonaka I, Higuchi K, Takusari N, Kurihara M, Takenaka A, Mitsumori M,
576 Kajikawa H, Aminov RI. Influence of high temperature and humidity on rumen bacterial
577 diversity in Holstein heifers. *Anaerobe.* 2007;13(2):57-64.
578 <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2006.12.001>
- 579 87. IUPS Thermal Commission. Glossary of terms for thermal physiology, Third edition. *Jpn J*
580 *Physiol* 2001;51:245–80.
- 581 88. Sanz SC. Defining upper critical temperatures for an effective climate control to reduce heat
582 stress. *Agric Eng Int CIGR J.* 2018;20(Special issue)

- 583 89. Kingma B, Frijns A, van Marken Lichtenbelt W. The thermoneutral zone: implications for
584 metabolic studies. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2012;4(5):1975-85. <https://doi.org/10.2741/e518>.
- 585 90. Shephard RW, Maloney SK. A review of thermal stress in cattle. *Aust Vet J*,
586 2023;101(11):417-29. <https://doi.org/10.1111/avj.13275>
- 587 91. Robertshaw D. Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting
588 animals. *J Appl Physiol*. 2006;101(2):664-8.
589 <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01380.2005>
- 590 92. Veissier I, Van Laer, E, Palme R, Moons CPH, Ampe B, Sonck B, Andanson S, Tuytens
591 FAM. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. *Int J*
592 *Biometeorol*. 2018;62:585-95. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1468-0>
- 593 93. Bar D, Kaim M, Flamenbaum I, Hanochi B, Toaff-Rosenstein RL. Accelerometer-based
594 recording of heavy breathing in lactating and dry cows as an automated measure of heat load.
595 *J Dairy Sci*. 2019;102(4):3480-6. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15186>
- 596 94. Min L, Li D, Tong X, Nan X, Ding D, Xu B, Wang G. Nutritional strategies for alleviating
597 the detrimental effects of heat stress in dairy cows: a review. *Int J Biometeorol*.
598 2019;63:1283-1302. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01744-8>
- 599 95. Chen L, Thorup VM, Kudahl AB, Ostergaard S. Effects of heat stress on feed intake, milk
600 yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: A meta-analysis. *J Dairy Sci*.
601 2024;107(5):3207-18. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059>
- 602 96. Muschner-Siemens T, Hoffmann G, Ammon C, Amon T. Daily rumination time of lactating
603 dairy cows under heat stress conditions. *J Therm Biol*. 2020;88:102484.
604 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102484>
- 605 97. Correa-Calderon A, Avendano-Reyes L, Lopez-Baca MA, Macías-Cruz U. Heat stress in
606 dairy cattle with emphasis on milk production and feed and water intake habits. *Review. Rev*
607 *Mex Cienc Pecu*. 2022;13(2):488-509. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5832>
- 608 98. Finch VA. Body temperature in beef cattle: its control and relevance to production in the
609 tropics. *J Anim Sci*. 1986;62(2):531-42. <https://doi.org/10.2527/jas1986.622531x>
- 610 99. Allen JD, Hall LW, Collier RJ, Smith JF. Effect of core body temperature, time of day, and
611 climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to
612 moderate heat stress. *J Dairy Sci*. 2015;98(1):118-27. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7704>

- 613 100. Ramon-Moragues A, Carulla P, Mínguez C, Villagra A, Estelles F. Dairy cows activity
614 under heat stress: A case study in Spain. *Animals*. 2021;11(8):2305.
615 <https://doi.org/10.3390/ani11082305>
- 616 101. Woo JS, Lee NK, Lee HG, Park KK. Effects of heat stress on performance, physiological
617 parameters, and blood profiles of early-fattening Hanwoo steers in climate chambers. *Anim*
618 *Biosci*. 2023;37(1):142-50. <https://doi.org/10.5713/ab.23.0274>
- 619 102. Gonzalez-Rivas PA, Chauhan SS, Ha M, Fegan N, Dunshea, FR, Warner RD. Effects of
620 heat stress on animal physiology, metabolism, and meat quality: A review. *Meat Sci*.
621 2020;162:108025. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.108025>
- 622 103. Kim YHB, Warner RD, Rosenvold K. Influence of high pre-rigor temperature and fast pH
623 fall on muscle proteins and meat quality: a review. *Anim Prod Sci*. 2014;54(4):375-95.
624 <https://doi.org/10.1071/AN13329>
- 625 104. Adzitey F, Nurul H. Pale soft exudative (PSE) and dark firm dry (DFD) meats: causes and
626 measures to reduce these incidences-a mini review. *Int Food Res J*. 2011;18:11-20.
- 627 105. Herbut P. Temperature, humidity and air movement variations inside a free-stall barn
628 during heavy frost. *Ann Anim Sci*. 2013;13(3):587–96. <https://doi.org/10.2478/aoas-2013-0025>
- 630 106. Manzoor A, Kalkal H, Ahuja R, Argade A, Nazir T. Effect of Heat and Cold Stress and Its
631 Management in Dairy Animals. *Adv Res Vet Sci*. 2021;22:82.
- 632 107. Olson DP. The effects of cold exposure on neonatal calves. *American Association of*
633 *Bovine Practitioners Conference Proceedings*. 1984; 16:64-68.
- 634 108. Hemsworth PH, Barnett JL, Beveridge L, Matthews LR. The welfare of extensively
635 managed dairy cattle: A review. *Appl Anim Behav Sci*. 1995;42(3): 161-82.
636 [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)00538-P](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)00538-P)
- 637 109. Collier RJ, Beede DK, Thatcher WW, Israel LA, Wilcox CJ. Influences of environment
638 and its modification on dairy animal health and production. *J Dairy Sci*. 1982;65(11):2213-
639 27. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(82\)82484-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(82)82484-3)
- 640 110. Laer EV, Moons CPH, Sonck B, Tuytens FAM. Importance of outdoor shelter for cattle in
641 temperate climates. *Livest Sci*. 2014;159:87-101.
642 <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.003>

- 643 111. Debnath A, Elangbam S, Pandey A, Madhuri P, Michui D. The hidden dangers of winter:
644 A brief review how cold stress affects cattle production. *Int J Vet Sci Anim Hub.*
645 2024;9(6):152-6. <https://dx.doi.org/10.22271/veterinary.2024.v9.i6c.1852>
- 646 112. National Institute of Animal Science. Korean feeding standard for Hanwoo. 4th ed. Wanju,
647 Korea: National Institute of Animal Science; 2022.
- 648 113. National Institute of Animal Science. Korean feeding standard for dairy cattle. 4th ed.
649 Wanju, Korea: National Institute of Animal Science; 2022.
- 650 114. Habeeb AA, Gad AE, Atta MA. Temperature-humidity indices as indicators to heat stress
651 of climatic conditions with relation to production and reproduction of farm animals. *Int J*
652 *Biotechnol Recent Adv.* 2018;1(1):35-50. <https://doi.org/10.18689/ijbr-1000107>
- 653 115. Angrecka S, Herbut P. Conditions for cold stress development in dairy cattle kept in free
654 stall barn during severe frosts. *Czech J Anim Sci.* 2015;60(2):81–7.
655 <https://doi.org/10.17221/7978-CJAS>
- 656 116. Angrecka S, Solecka U, Vieira FMC, Herbut P, Deniz M, Adamczyk K, Godyn D. Noise
657 as a factor of environmental stress for cattle—a review. *Ann Anim Sci.* 2023;23(3):717-23.
658 <https://doi.org/10.2478/aoas-2023-0046>
- 659 117. Minka NS, Ayo JO. Physiological responses of food animals to road transportation stress.
660 *Afr J Biotechnol.* 2010;9(40):6601-13.
- 661 118. Iulietto MF, Sechi P, Gaudenzi CM, Grispoli L, Ceccarelli M, Barbera S, Cenci-Goga BT.
662 Noise assessment in slaughterhouses by means of a smartphone app. *Ital J Food Saf.*
663 2018;7(2):7053. <https://doi.org/10.4081/ijfs.2018.7053>
- 664 119. Dimov D, Penev T, Marinov I. Importance of Noise Hygiene in Dairy Cattle Farming—A
665 Review. *Acoustics.* 2023;5(4):1036-45. <https://doi.org/10.3390/acoustics5040059>
- 666 120. Olczak K, Penar W, Nowicki J, Magiera A, Klocek C. The role of sound in livestock
667 farming—selected aspects. *Animals.* 2023;13(14):2307.
668 <https://doi.org/10.3390/ani13142307>
- 669 121. Ahn MS, Kim JD, Hwang SJ. A Case Study to Minimize Effect of Blasting Vibration and
670 Noise on Animal Casualties. *Trans Korean Soc Noise Vib Eng.* 2001;11(1):104-10.
- 671 122. Bell WB. Animal response to sonic booms. *J Acoust Soc Am.* 1972;51(2C):758-65.
672 <https://doi.org/10.1121/1.1912908>

- 673 123. Watts G, Pheasant R, Khan A. Noise and disturbance caused by vehicles crossing cattle
674 grids: Comparison of installations. *Appl Acoust.* 2017;116:87-93.
675 <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.019>
- 676 124. Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Katz LC, LaMantia AS, McNamara JO, Williams
677 SM. The Audible Spectrum. In: Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Katz LC,
678 LaMantia AS, McNamara JO, Williams SM, editors. *Neuroscience*, 2nd ed. Sunderland:
679 Sinauer Associates; 2001.
- 680 125. Heffner RS, Heffner HE. Hearing in large mammals: Horses (*Equus caballus*) and cattle
681 (*Bos taurus*). *Behav Neurosci.* 1983;97(2):299-309. [https://doi.org/10.1037/0735-](https://doi.org/10.1037/0735-7044.97.2.299)
682 [7044.97.2.299](https://doi.org/10.1037/0735-7044.97.2.299).
- 683 126. Broucek J. Effect of noise on performance, stress, and behaviour of animals. *Slovak J*
684 *Anim Sci.* 2014; 47(2):111-23.
- 685 127. Waynert DF, Stookey JM, Schwartzkopf-Genswein KS, Watts JM, Waltz CS. The
686 response of beef cattle to noise during handling. *Appl Anim Behav Sci* 1999;62(1):27-42.
687 [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(98\)00211-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(98)00211-1)
- 688 128. Phillips CJC. Housing, handling and the environment for cattle. In: Phillips CJC, editor.
689 *Principles of cattle production*, 3rd ed. Wallingford: CABI; 2009. p. 95–128.
- 690 129. Lanier JL, Grandin T, Green RD, Avery D, McGee K. The relationship between reaction to
691 sudden, intermittent movements and sounds and temperament. *J Anim Sci.*
692 2000;78(6):1467-74. <https://doi.org/10.2527/2000.7861467x>
- 693 130. Pajor EA, Rushen J, De Passille AMB. Aversion learning techniques to evaluate dairy
694 cattle handling practices. *Appl Anim Behav Sci.* 2000;69(2):89-
695 102. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(00\)00119-2](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(00)00119-2)
- 696 131. National Environmental Dispute Resolution Commission. 환경분쟁조정사례집
697 주요사례. Sejong, Korea: National Environmental Dispute Resolution Commission;
698 2022.
- 699 132. National Environmental Dispute Resolution Commission. 환경분쟁조정사례집
700 주요사례. Sejong, Korea: National Environmental Dispute Resolution Commission;
701 2023.

- 702 133. Havelka Z, Kunes R, Kononets Y, Stokes JE, Smutny L, Olsan P, Kresan J, Stehlik R,
703 Bartos P, Xiao M, Kriz P, Findura P, Roztocil D. Technology of microclimate regulation in
704 organic and energy-sustainable livestock production. *Agriculture*. 2022;12(10):1563.
705 <https://doi.org/10.3390/agriculture12101563>
- 706 134. RSPCA. RSPCA welfare standards for beef cattle. Royal Society for the Prevention of
707 Cruelty to Animals. 2023 [cited 2025 Apr 16].
708 <https://science.rspca.org.uk/documents/d/science/web-beef-welfare-standards-2023-1>
- 709 135. RSPCA. RSPCA welfare standards for dairy cattle. Royal Society for the Prevention of
710 Cruelty to Animals. 2021 [cited 2025 Apr 16].
711 [https://science.rspca.org.uk/documents/d/science/rspca-welfare-standards-for-dairy-cattle-](https://science.rspca.org.uk/documents/d/science/rspca-welfare-standards-for-dairy-cattle-reformatted-final-version-december-2023)
712 [reformatted-final-version-december-2023](https://science.rspca.org.uk/documents/d/science/rspca-welfare-standards-for-dairy-cattle-reformatted-final-version-december-2023)
- 713 136. Beter Leven. Beef cattle 3 stars version 1.2 valid as of 01-09-2024. Beter Leven. 2024
714 [cited 2025 Apr 16]. [https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-](https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/Beef-cattle-3-stars-version-1.2-d.d.-01-09-2024.pdf)
715 [content/uploads/sites/2/2023/09/Beef-cattle-3-stars-version-1.2-d.d.-01-09-2024.pdf](https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-content/uploads/sites/2/2023/09/Beef-cattle-3-stars-version-1.2-d.d.-01-09-2024.pdf)
- 716 137. Beter Leven. Dairy cattle 3 stars version 2.1 dd. 03-02-2025. Beter Leven. 2025 [cited
717 2025 Apr 16]. [https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-](https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-content/uploads/sites/2/2025/02/Dairy-cattle-3-stars-version-2.1-dd.-03-02-2025.pdf)
718 [content/uploads/sites/2/2025/02/Dairy-cattle-3-stars-version-2.1-dd.-03-02-2025.pdf](https://beterleven.dierenbescherming.nl/zakelijk/wp-content/uploads/sites/2/2025/02/Dairy-cattle-3-stars-version-2.1-dd.-03-02-2025.pdf)
- 719 138. RSPCA Australia. RSPCA approved farming scheme standard dairy calves. RSPCA
720 Approved. 2021 [cited 2025 Apr 16]. [https://rspcaapproved.org.au/wp-](https://rspcaapproved.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2021-01_DAIRYCALVES_Standard.pdf)
721 [content/uploads/2022/03/2021-01_DAIRYCALVES_Standard.pdf](https://rspcaapproved.org.au/wp-content/uploads/2022/03/2021-01_DAIRYCALVES_Standard.pdf)
- 722 139. CIGR. Report of working group on climatisation of animal houses. Aberdeen, Scotland:
723 Scottish Farm Building Investigation Unit; 1984.
- 724 140. Teye FK, Hautala M, Pastell M, Praks J, Veermae I, Poikalainen V, Pajumagi A, Kivinen
725 T, Ahokas J. Microclimate and ventilation in Estonian and Finnish dairy buildings. *Energy*
726 *Build*. 2008;40(7):1194-201. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.10.017>
- 727 141. American Humane. Animal Welfare Standards for Beef Cattle. American Humane Society.
728 2017 [cited 2025 Apr 25]. [https://www.americanhumane.org/wp-](https://www.americanhumane.org/wp-content/uploads/2025/02/AHS-Beef-Cattle-Standards-2025.pdf)
729 [content/uploads/2025/02/AHS-Beef-Cattle-Standards-2025.pdf](https://www.americanhumane.org/wp-content/uploads/2025/02/AHS-Beef-Cattle-Standards-2025.pdf)
- 730 142. American Human. Animal Welfare Standards for Dairy Cattle. American Humane Society.
731 2020 [cited 2025 Apr 25]. [https://www.americanhumane.org/wp-](https://www.americanhumane.org/wp-content/uploads/2025/02/AHS-Dairy-Cattle-Standards-2025.pdf)
732 [content/uploads/2025/02/AHS-Dairy-Cattle-Standards-2025.pdf](https://www.americanhumane.org/wp-content/uploads/2025/02/AHS-Dairy-Cattle-Standards-2025.pdf)

- 733 143. Global animal partnership. Global animal partnership 5-step animal welfare standards for
734 beef cattle. Global animal partnership. 2022 [cited 2025 Apr 25].
735 [https://globalanimalpartnership.org/wp-content/uploads/2022/04/Global-Animal-](https://globalanimalpartnership.org/wp-content/uploads/2022/04/Global-Animal-Partnership-Animal-Welfare-Standards-for-Beef-Cattle-v1.2-20220407.pdf)
736 [Partnership-Animal-Welfare-Standards-for-Beef-Cattle-v1.2-20220407.pdf](https://globalanimalpartnership.org/wp-content/uploads/2022/04/Global-Animal-Partnership-Animal-Welfare-Standards-for-Beef-Cattle-v1.2-20220407.pdf)
- 737 144. Zicari G, Soardo V, Rivetti D, Cerrato E, Russo D. Livestock farming and atmospheric
738 emissions. *Igiene e sanita pubblica*. 2013;69(4):445-57.
- 739 145. Meyer MJ, Smith JF, Harner JP, Shirley JE, Titgemeyer EC, Brouk MJ. Performance of
740 lactating dairy cattle in three different cooling systems. *Appl Eng Agric*. 2002;18(3):341-5.
741 <https://doi.org/10.13031/2013.8596>
- 742 146. Kendall PE, Verkerk GA, Webster JR, Tucker CB. Sprinklers and shade cool cows and
743 reduce insect-avoidance behavior in pasture-based dairy systems. *J Dairy Sci*.
744 2007;90(8):3671-80. <https://doi.org/10.3168/jds.2006-766>
- 745 147. Urdaz JH, Overton MW, Moore DA, Santos JEP. Effects of adding shade and fans to a
746 feedbunk sprinkler system for preparturient cows on health and performance. *J Dairy Sci*.
747 2006;89(6):2000-6.
- 748 148. Lee SJ, Chang DI, Choi YH, Yang JW, Min BJ, Gutierrez WM, Chang HH. Study on
749 optimum installation of fan in standard Hanwoo loose barn. *J Biosystems Eng*.
750 2010;35(5):350-6. <https://doi.org/10.5307/JBE.2010.35.5.350>
- 751 149. Olson TA, Chase Jr CC, Lucena C, Godoy E, Zuniga A, Collier RJ. Effect of hair
752 characteristics on the adaptation of cattle to warm climates. In: *Proceedings of the 8th*
753 *World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*; 2006 Aug 13-18; Belo
754 Horizonte, MG, Brasil.
- 755 150. Gantner V, Bobic T, Gregic M, Gantner R, Kuterovac K, Potocnik K. The differences in
756 heat stress resistance due to dairy cattle breed. *Mljekarstvo*. 2017;67(2):112-22.
757 <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2017.0203>
- 758 151. Cincovic MR, Belic B, Toholj B, Potkonjak A, Stevancevic M, Lako B, Radovic I.
759 Metabolic acclimation to heat stress in farm housed Holstein cows with different body
760 condition scores. *Afr J Biotechnol*. 2011;10(50):10293-303.
761 <https://doi.org/10.5897/AJB11.847>
- 762 152. Phillips CJC, Morris ID, Lomas CA, Lockwood SJ. The locomotion of dairy cows in
763 passageways with different light intensities. *Anim Welf*. 2000;9(4), 421-31.
764 <https://doi.org/10.1017/S0962728600023009>

- 765 153. Phillips CJC, Morris ID. A novel operant conditioning test to determine whether dairy
766 cows dislike passageways that are dark or covered with excreta. *Anim Welf.*
767 2001;10(1):65-72. <https://doi.org/10.1017/S0962728600023265>
- 768 154. Klinglmair K, Stevens KB, Gregory NG. Luminance and glare in indoor cattle-handling
769 facilities. *Anim Welf.* 2011;20(2):263-9. <https://doi.org/10.1017/S0962728600002748>
- 770 155. Phillips CJC, Pines MK., Latter M, Muller T, Petherick JC, Norman ST, Gaughan JB. The
771 physiological and behavioral responses of steers to gaseous ammonia in simulated long-
772 distance transport by ship. *J Anim Sci.* 2010;88(11):3579-89.
773 <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3089>
- 774 156. Lorenz I, Earley B, Gilmore J, Hogan I, Kennedy E, More SJ. Calf health from birth to
775 weaning. III. Housing and management of calf pneumonia. *Ir Vet J.* 2011;64:14.
776 <https://doi.org/10.1186/2046-0481-64-14>
- 777 157. Lundborg GK, Svensson EC, Oltenacu PA. Herd-level risk factors for infectious diseases
778 in Swedish dairy calves aged 0–90 days. *Prev Vet Med.* 2005;68(2-4):123-43.
779 <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2004.11.014>
- 780 158. Wathes CM, Demmers TG, Xin H. Ammonia concentrations and emissions in livestock
781 production facilities: Guidelines and limits in the USA and UK. Poster session presented
782 at: 2003 ASAE Annual Meeting; 2003 Jul 27-30; Las Vegas, Nevada.
- 783 159. Song J, Yu Q, Wang X, Wang Y, Zhang Y, Sun Y. Relationship between microclimate and
784 cow behavior and milk yield under low-temperature and high-humidity conditions. *Front*
785 *Ecol Evol.* 2023;11:1058147. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1058147>
- 786 160. Macitelli F, Braga JS, Gellatly D, Paranhos da Costa MJR. (2020). Reduced space in
787 outdoor feedlot impacts beef cattle welfare. *Animal.* 2020;14(12):2588-97.
788 <https://doi.org/10.1017/S1751731120001652>
- 789 161. Mousque S, Mocz F, Riber AB. Validation of methods for assessment of dust levels in
790 layer barns. *Animals.* 2023;13(5):783. <https://doi.org/10.3390/ani13050783>
- 791 162. Gaughan JB, Mader TL, Holt SM Lisle A. A new heat load index for feedlot cattle. *J Anim*
792 *Sci.* 2008;86(1):226–34. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0305>
- 793 163. Brown-Brandl TM, Eigenberg RA, Nienaber JA. Heat stress risk factors of feedlot heifers.
794 *Livest Sci.* 2006;105(1-3):57–68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.025>
- 795 164. Mader TL, Davis MS, Brown-Brandl T. Environmental factors influencing heat stress in
796 feedlot cattle. *J Anim Sci.* 2006;84(3):712-9. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>

- 797 165. Gaughan JB, Mader TL. Body temperature and respiratory dynamics in un-shaded beef
798 cattle. *Int J Biometeorol.* 2014;58:1443-50. <https://doi.org/10.1007/s00484-013-0746-8>
- 799 166. Bellows RA, Lammoglia MA. Effects of severity of dystocia on cold tolerance and serum
800 concentrations of glucose and cortisol in neonatal beef calves. *Theriogenology.*
801 2000;53(3):803-13. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(99\)00275-7](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(99)00275-7)
- 802 167. Silva FLM, Miqueo E, Silva MDD, Torrezan TM, Rocha NB, Salles MSV, Bittar CMM.
803 Thermoregulatory responses and performance of dairy calves fed different amounts of
804 colostrum. *Animals.* 2021;11(3):703. <https://doi.org/10.3390/ani11030703>
- 805 168. Mader TL, Gaughan JB, Kreikemeier WM, Parkhurst AM. Behavioural effects of yearling
806 grain-finished heifers exposed to differing environmental conditions and growth-promoting
807 agents. *Aust J Exp Agric.* 2008;48(9):1155-60. <https://doi.org/10.1071/EA07385>
- 808 169. Solan M, Jozwik M. Wpływ mikroklimatu oraz systemu utrzymania na dobrostan krów
809 mlecznych. *Wiadomości Zootechniczne.* 2009;1:25-9.
- 810 170. Johns J, Patt A, Hillmann E. Do bells affect behaviour and heart rate variability in grazing
811 dairy cows?. *PloS One.* 2015;10(6):e0131632.
812 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131632>
- 813 171. Kovacs L, Jurkovich V, Bakony M, Szenci O, Poti P, Tozser J. Welfare implication of
814 measuring heart rate and heart rate variability in dairy cattle: literature review and
815 conclusions for future research. *Animal.* 2014;8(2):316-30.
816 <https://doi.org/10.1017/S1751731113002140>
- 817 172. Chen Y, Arsenault R, Napper S, Griebel P. Models and methods to investigate acute stress
818 responses in cattle. *Animals.* 2015;5(4):1268-95. <https://doi.org/10.3390/ani5040411>
- 819 173. Fuller JL, Wimer RE. Neural, sensory, and motor functions. In: Green EL, editor. *Biology*
820 *of the laboratory mouse*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1966. p. 609-28.
- 821 174. Odberg FO. A study of the hearing ability of horses. *Equine Vet J.* 1978;10(2):82-4.
822 <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1978.tb02225.x>

823

824

Tables and Figures

825 **Table 1. Environmental management assessment items in the Korean animal welfare certification**
826 **standards for Korean beef cattle and Dairy cattle**

Livestock species	Assessment items	Assessment criteria	Assessment method
Hanwoo (Beef cattle)	Light	Provide at least 100 lux illumination during daylight hours Provide resting areas with no more than 50 lux lighting	Yes / No ^a
	Ventilation	The level of air pollution meets the standards, with ammonia concentrations not exceeding 25 ppm	Yes / No
		Relative humidity inside the barn is maintained below 80%	Yes / No
	Temperature	No strong unpleasant dust or odor from gases is perceived inside the barn	0-5 scale ^b
		Adequate insulation and heating must be provided (confirm records of minimum barn temperature or measure during evaluation)	0-5 scale / No
		Measures to prevent heat stress, such as fans or misting systems, must be in place and implemented when necessary (confirm records of maximum barn temperature or measure during evaluation)	Yes / No
Noise	There must be no continuous or excessive noise, or noise-generating equipment, that could cause discomfort to the assessor	Yes / No	
Dairy cattle	Light	Provide at least 100 lux illumination during daylight hours Provide resting areas with no more than 50 lux lighting	Yes / No
	Level of air pollution	The level of air pollution meets the standards, with ammonia concentrations not exceeding 25 ppm	Yes / No
		No strong unpleasant dust or odor from gases is perceived inside the barn	0-5 scale
	Temperature	Adequate insulation and heating must be provided (confirm records of minimum barn temperature or measure during evaluation)	0-5 scale / No
		Measures to prevent heat stress, such as fans or misting systems, must be in place and implemented when necessary (confirm records of maximum barn temperature or measure during evaluation)	Yes / No
	Noise	There must be no continuous or excessive noise, or noise-generating equipment, that could cause discomfort to the assessor	Yes / No

827 ^a N 이 한 개라도 있는 경우 부적합 판정

828 ^b 배점 기준 : 5 - 우수, 4 - 양호, 3 - 보통, 2 - 미흡, 1 - 부족, 0 - 열악/없음/평가 불가능