

不同喷淋流速对散栏饲养奶牛夏季降温效果的影响

□陈宜军 孙越

夏季高温环境会导致奶牛热应激，引起产奶量下降，繁殖能力减弱。为了应对夏季高温环境，我国多地规模化奶牛场普遍配备了喷淋联动风机。一般牛舍内喷淋工艺安装在采食通道附近，间歇地向奶牛体表喷射水分，浸湿奶牛表面皮肤，进行蒸发散热。在封闭牛舍也会影响牛舍微环境温度，通过降低环境温度，从而缓解奶牛热应激反应。

在喷淋降温操作中，喷淋流速是一项重要的管理参数。据调研，北京地区1000头规模以上奶牛场均采用喷淋联合风机的人工降温技术，但大部分喷淋管理操作相对原始，其中超过50%的规模化牛场采用非自动化、手动控制开闭的喷淋装置，剩余大部分通过检测环境温度启动。这些方式均容易造成喷淋用水浪费，导致牛舍积水并极易诱发奶牛肢蹄病和乳房炎。人为降低喷淋频率，又容易导致喷淋降温效果不佳，无法高效缓解奶牛夏季热应激。部分研究发现，喷淋流速也可能会影响散热效率，在炎热干燥的地中海气候下，一定范围内更高的喷淋流速(>1.3升/分钟)能产生更佳的散热效果。但也有研究表明，奶牛场用于喷淋降温的水量为每头牛23—256升/天，增加喷淋流量会显著增加喷淋用水量，但获得的增加降温效果却递减。此外，喷淋流速的变化极有可能对奶舍温湿度参数、奶牛适应性等多方因素有影响，特别是高流速会导致奶牛有意识地避免喷淋(特别是头部)，造成部分水浪费，这也对散栏饲养奶牛夏季整体降温效果有叠加影响。

关于不同喷淋流速对散栏饲养模式下奶牛夏季降温效果的影响还不明确，为此本研究开展了此次试验，以期为进一步评估不同喷淋流速对散栏式饲养奶牛夏季降温效果的影响，为牛舍夏季的环境调控提供决策依据。

材料与方法

1、试验动物

本试验选取处于泌乳中期的健康荷斯坦牛40头，平均泌乳天数152±10.58天，胎次2.01±1.10胎；每天05:00、12:00和17:00按照维持能量和产奶生产需要提供相同的TMR，期间自由饮水。

2、试验牛舍概况

试验牛舍是双坡屋顶开放式泌乳牛舍，长240米，宽30米，中间为东西朝向饲喂通道。按照养殖管理模式平均划分成四个分区，南北各两个。分别选取两栋牛舍朝南的两个分区作为试验分组区域，每个区域均有1排双列卧床，采食通道和清粪通道宽均为3米。

采食通道和卧床上方均安装风机，风机安装高度和间隔分别为2.2米和12米，与垂直面呈20°夹角，风扇直径为1.0米，功率为1.5KW。在采食通道上方，距离地面1.9米高处装有喷淋降温装置，每个喷头间隔1.5米。喷淋装置配备有雷达识别装置，利用多普勒效应进行识别，识别设定区域为3米(采食通道区域)。当牛体进入识别区间，且T(环境温度)>26℃以及THI(温湿指数)>

72时，喷淋装置会自动开启，喷淋3分钟，之后吹风5分钟，之后间隔7分钟。

3、试验设计

试验采用单因子试验设计，将40头泌乳奶牛随机分为A、B、C、D组，分别置于四个分区，每组随机挑选3头牛进行后续指标测定。A、B、C、D组选择不同喷头进行喷淋降温处理，喷淋额定流速分别是0升/分钟、0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟(实际参数见表1)，共进行5个工作日的处理测定，试验时间为8月1日—8月5日。4升/分钟是市面上普遍喷淋设施的初设流速最大值；最小流速为0.4升/分钟，产生的喷洒水滴大小与雨滴大小基本一致。

4、环境参数测试

试验期间，分别在A、B、C、D牛舍分区采食通道处，悬挂电子环境测定仪(精度分别为±0.2℃，±1.8%RH)，风速测定采用MODEL6004热线风速仪(精度为±5%，+0.1米/秒)。于每天09:00、11:00、13:00、15:00、17:00、19:00分别测定舍内温度、相对湿度、风速，并根据温湿度计算温湿度指数(THI)。THI的计算公式为：THI=(1.8×T+32)÷(0.55-0.0055×RH)x(1.8×T-26)，式中，T代表环境温度(℃)，RH代表相对湿度(%)。

5、生产参数测定

试验期间，各组奶牛进行等额定量饲喂，并在各组奶牛停止采食后，分别收集剩余饲料，并对其进行称量统计，核定每日采食量。

试验期间，分别核定每组日均产奶量，并于每天06:00—08:00、12:40—14:00、17:40—19:00采集奶样，每次50毫升，按4:3:3比例混合后，一式3份分装，检测体细胞数、乳脂率、乳蛋白率、乳糖含量。

6、生理指标测定

分别于每天09:00、11:00、13:00、15:00、17:00、19:00对直肠温度、呼吸频率进行测定。直肠温度通过组扣式温度记录器测量；呼吸频率通过秒表和计数器测量，测定安静状态下奶牛腹部起伏次数，每次测5分钟，取每分钟平均数作为奶牛的呼吸频率。

7、行为指标测定

每组随机选择3头，在9:00—18:00期间利用录像分别对牛只进入采食通道、水槽区间和躺卧的持续时间和发生频率进行连续监测。牛只任意部位进入采食通道，越过水槽上方，且单次时间超过5分钟，即达到统计标准。

8、数据分析

试验数据采用Excel2010进行初步整理，采用SPSS25.0软件进行单因素方差分析，用Duncan法进行多重比较，结果均采用平均值和均值标准误(SEM)表示，以P<0.05为差异显著性判断标准。

结果与分析

1、不同喷淋流速对牛舍采食通道环境的影响

结果显示，测试期间，牛舍采食通道环境温度变化区间为25.0℃—30.51℃，相对湿度变化区间为49.00%—68.13%，THI为72.82—78.81。

在11:00、15:00时，不同喷淋流速显著影响了牛舍采食通道环境温度和THI指数(P<0.05)，和对照组(0升/分钟)相比，1.2升/分钟组和4.0升/分钟组降低

幅度最大，且两组没有显著差异，0.4升/分钟组次之。

在13:00时，不同喷淋流速显著影响了舍内THI指数(P<0.05)，和对照组(0升/分钟)相比，0.4升/分钟组、1.2升/分钟组、4.0升/分钟组分别降低了0.72、1.1、1.21，但1.2升/分钟组与4.0升/分钟组没有显著差异。

在19:00时，不同喷淋流速显著影响了舍内相对湿度(P<0.05)，和对照组比，分别增加了2.6%、6.1%、6.2%，且1.2升/分钟组与4.0升/分钟组没有显著差异；其他时段，环境温湿指数(THI)、环境温度没有显著差异；舍内风速均无显著差异(表2)。

2、不同喷淋流速对奶牛生产参数的影响

结果显示，和对照组(0升/分钟)相比，不同喷淋流速对奶牛日采食量、产奶量、体细胞数有显著影响(P<0.05)；其中试验组日采食量随着喷淋流速增加而增大，且三组均有显著差异(P<0.05)；试验组日产奶量显著提升(P<0.05)，0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟组分别提升3.3%、8.2%、8.9%，但1.2升/分钟、4升/分钟组没有显著差异；试验组体细胞数显著降低(P<0.05)，0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟组分别降低17.5%、24.2%、23.7%，但1.2升/分钟、4升/分钟组没有显著差异；乳脂率、乳蛋白率没有显著差异(表3)。

3、不同喷淋流速对生理指标的影响

结果显示，对照组(0升/分钟)奶牛直肠温度最高为39.33℃，最低为39.04℃，且在9:00—19:00期间呈现逐渐升高又下降的态势。试验组(0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟)奶牛直肠温度最高为39.18℃，最低为38.56℃，在9:00—19:00期间呈现逐渐降低又升高的态势。

不同流速处理对13:00、15:00试验奶牛直肠温度有显著影响(P<0.05)；其中1.2升/分钟组和4升/分钟组降温效果相似，均显著优于0.4升/分钟组和0升/分钟(对照组)，0.4升/分钟组在13:00降温效果显著优于对照组(P<0.05)，其他时段没有显著差异(图1)。

结果显示，除9:00外，不同流速处理对试验奶牛呼吸频率有显著影响(P<0.05)；在11:00、13:00、15:00，和对照组(0升/分钟)相比，0.4升/分钟组、1.2升/分钟组和4升/分钟组呼吸频率随着喷淋流速增大而显著降低(P<0.05)，且1.2升/分钟、4升/分钟组没有显著差异；在17:00、19:00，试验组(0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟)呼吸频率显著低于对照组(P<0.05)，且不同流速间没有显著差异(图2)。

4、不同喷淋流速对奶牛行为的影响

表4显示，和对照组(0升/分钟)相比，随着喷淋流速的增加，奶牛出现在采食通道的次数显著降低(P<0.05)；单次持续的时间显著增多(P<0.05)，但1.2升/分钟组和4升/分钟组没有显著差异；在采食通道的总时长没有显著差异。

和对照组(0升/分钟)相比，随着喷淋流速的增加，奶牛躺卧总时间显著缩短(P<0.05)，但1.2升/分钟组和4升/分钟组没有显著差异；躺卧单次持续时间和出现次数没有显著差异。

不同喷淋流速对奶牛出现在水槽附近的时间没有显著影响，随着喷淋流速的增加，停留在水槽附近的总时间均有降低的趋势(P=0.054)。

讨论

1、不同喷淋流速对牛舍环境的影响

测试期间，牛舍环境温度变化区间为25.0℃—30.51℃，相对湿度变化区间为49.00%—68.13%，THI为72.82—78.81。一般THI超过72就会打破奶牛机体热平衡，引起热应激，说明本试验期间奶牛普遍处于热应激状态。

在11:00、13:00、15:00中午时段，和对照组(0升/分钟)相比，0.4升/分钟组、1.2升/分钟组和4.0升/分钟组的舍内环境温度和THI(P<0.05)均有显著降低，且1.2升/分钟组、4.0升/分钟组之间没有显著差异，说明不同喷淋处理在高温阶段可以影响环境温度和THI变化。有研究表明，与单独遮荫相比，喷洒会导致局部空气温度更低，这和本试验相似。并且有研究发现，喷淋降温处理能降低小气候环境温度和奶牛体表温度，且这种效果随着流速的增大而增强(4.5升/分钟 vs 0.4升/分钟)，这和本试验结果相似。但有些时间段相对湿度没有显著差异，可能是由于这些时段太阳辐射强度大，舍内环境温度高，并且半开放牛舍空气流通较好，舍内水分蒸发散热相对增多，导致了湿度变化不明显。相对湿度在19:00时出现了显著差异(P<0.05)，和对照组比，0.4升/分钟组、1.2升/分钟组、4.0升/分钟组分别增加了2.6%、

6.1%、6.2%，且1.2升/分钟组与4.0升/分钟组没有显著差异，但环境温度没有显著变化，说明早晚温度相对低时，喷淋处理对环境温度的影响有限。

此外，结果显示1.2升/分钟、4.0升/分钟对环境的影响相似，这可能跟喷淋粒径有关。研究发现，较小的雾滴(80μm粒径)降温处理，牛舍空气温度平均可降低2.1℃(P<0.01)，相对湿度增加5.8%(P<0.01)，说明小喷雾粒径对环境参数的影响明显。但当喷淋流速>1.2升/分钟，喷淋粒径显著增大，超过了500μm(见表1)，可能是喷淋水滴雾化效果有限，从而对相对湿度和蒸发散热的影响有限。9:00时无显著差异，则是由于环境温度低于26℃，未激活喷淋降温装置。

综上，不同喷淋流速对奶牛夏季牛舍环境指标有显著影响，和0.4升/分钟相比，1.2升/分钟、4升/分钟处理能更显著降低中午时段的环境温度和THI，且1.2升/分钟、4.0升/分钟的影响效果相似。

2、不同喷淋流速对奶牛生产参数的影响

和对照组(0升/分钟)相比，试验组日采食量随着喷淋流速增加而增大，且三组均有显著差异(P<0.05)，说明较高喷淋流速对采食量有影响。一项关于巴基斯坦牛牛的研究表明，在上午时段，较高的喷头流量(2升/分钟 vs 1.25升/分钟)对水牛采食行为有更积极的影响，这和本试验相似。

研究表明，夏季喷淋处理能缓解热应激导致的奶牛日采食量、产奶量下降，热应激下50%的奶牛产奶量下降归因于采食量的减少，日产奶量的结果大致符合这一规律。奶牛体细胞数变化能体现奶牛机体免疫状态，不同喷淋流速对体细胞数有显著影响(P<0.05)，和对照组比，0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟组分别降低17.5%、24.2%、23.7%，但1.2升/分钟与4升/分钟组没有显著差异，说明不同喷淋流速对缓解热应激导致的奶牛部分免疫反应有显著影响。综上，不同喷淋流速对奶牛夏季生产参数有显著影响，和0.4升/分钟相比，1.2升/分钟、4升/分钟处理能更显著缓解热应激导致的奶牛部分免疫反应，缓解日产奶量和采食量下降，且1.2升/分钟、4升/分钟组效果相似。

3、不同喷淋流速对奶牛生理指标的影响

在试验阶段，和对照组(0升/分钟)相比，试验组(0.4升/分钟、1.2升/分钟、4升/分钟)呼吸频率均显著降低(P<0.05)，这和之前研究相似。在喷淋处理阶段，智能喷淋处理组奶牛体表温度和呼吸频率，均显著低于风扇降温模式组(P<0.05)，说明喷淋降温处理能显著降低夏季奶牛直肠体温 and 呼吸频率。

本试验高温阶段，尤其是13:00、15:00时段，1.2升/分钟组和4升/分钟组降低直肠体温和呼吸频率的效果显著优于0.4升/分钟组(P<0.05)，但两组效果没有显著差异。有研究表明，当奶牛进行喷淋处理时，4.5升/分钟处理比0.4升/分钟处理散热效果更佳，呼吸速率降低8次/分钟，体温降低0.14℃。说明在奶牛喷淋降温操作中，一定范围内较高的流速可以提升散热效果，这和本试验结果相似。这极有可能跟喷淋粒径大小有关，且丁涛等曾发现，对于奶牛脖颈区域和腹部区域，大喷淋粒径(0.947毫米、1.127毫米)比0.829毫米粒径喷淋降温更明显，但0.947毫米和1.127毫米平均喷淋水滴粒径之间降温效果相近，这和本试验规律相似。说明喷淋处理对奶牛热应激缓解效果，不是随着流速的增大而线性增强的。

综上，基于本试验结果，不同喷淋流速能显著缓解热应激导致的奶牛呼吸频率、直肠体温升高，且1.2升/分钟、4升/分钟组效果相似。

4、不同喷淋流速对奶牛行为的影响

和对照组(0升/分钟)相比，随着喷淋流速的增加，奶牛出现在采食通道的次数显著降低(P<0.05)；单次持续的时间显著增多(P<0.05)，但1.2升/分钟组和4升/分钟组没有显著差异；采食通道总时长没有显著差异。有研究表明，当需要穿过4.5升/分钟的喷淋时，奶牛低头头的次数是0.4升/分钟喷淋时的4倍，说明喷淋流速增大，会降低牛喷淋意愿，从而导致出现频次降低。同时也有研究发现，当有喷淋处理时，奶牛停留在采食通道的时间更长，这可能与间接导致了采食量的增加。以上说明奶牛在炎热夏季倾向于前往有喷淋的区域，但对高流速喷淋有躲避意愿。

和对照组(0升/分钟)相比，随着喷淋流速的增加，躺卧总时间显著缩短(P<0.05)，但1.2升/分钟组和4升/分钟组没有显著差异；躺卧单次持续时间和出现次数没有显著差异。有研究表明，随着环境温度和热负荷的增加，奶牛不进食时站立的时间会增加，躺卧的时间会减少，原因可能是为了最大限度地增

额定流速(L/min)	压强(kPa)	粒径 ¹ (μm)	实际流速 ² (L/min)	耗水量 ³ (L/d)
0.4	138	370	0.45±0.05	43.52±5.20
1.2	120	635	1.35±0.02	135.35±8.71
4	70	945	4.10±0.23	425.04±21.35

▲表1 喷淋处理的参数

时间	项目	喷淋流速(L/min)				SEM	P值
		0	0.4	1.2	4		
9:00	温度(℃)	25.00	25.11	25.04	25.08	1.24	0.73
	相对湿度(%)	60.02	60.12	60.52	59.85	0.42	0.13
	THI	72.82	72.99	72.93	72.92	3.02	0.21
	风速(m/s)	2.02	2.10	2.03	2.15	0.75	1.74
11:00	温度(℃)	27.84 ^o	27.62 ^b	27.30 ^c	27.40 ^c	1.01	0.03
	相对湿度(%)	54.50	54.62	54.65	54.70	2.04	0.12
	THI	76.08 ^o	75.80 ^a	75.37 ^b	75.51 ^b	0.33	0.01
	风速(m/s)	2.08	2.02	2.11	2.18	1.40	0.90
13:00	温度(℃)	30.51	29.92	29.68	29.50	1.07	0.07
	相对湿度(%)	49.00	49.30	49.51	49.68	3.20	0.75
	THI	78.81a	78.09b	77.81bc	77.60c	1.98	0.01
	风速(m/s)	2.01	2.08	2.13	1.97	0.91	0.93
15:00	温度(℃)	29.50 ^o	29.10 ^b	28.53 ^c	28.30 ^c	0.14	0.01
	相对湿度(%)	50.80	51.80	51.49	51.84	1.70	0.85
	THI	77.77 ^o	77.39 ^a	76.59 ^b	76.33 ^b	0.64	0.03
	风速(m/s)	2.47	2.36	2.45	2.38	1.01	0.76
17:00	温度(℃)	28.50	28.40	28.05	28.15	1.90	0.88
	相对湿度(%)	54.21	55.91	55.41	55.74	1.02	0.10
	THI	76.93	77.03	76.48	76.66	0.88	0.96
	风速(m/s)	2.06	2.10	2.04	2.10	0.73	0.72
19:00	温度(℃)	26.00	25.84	25.80	25.50	0.85	0.74
	相对湿度(%)	65.10 ^d	66.80 ^c	69.14 ^b	69.13 ^a	1.15	0.03
	THI	74.81	74.77	74.86	74.41	0.99	0.23
	风速(m/s)	1.98	2.01	2.03	1.96	0.85	0.68

▲表2 不同喷淋流速对不同时段牛舍采食通道环境的影响

项目	喷淋流速(L/min)				SEM	P值
	0	0.4	1.2	4		
日采食量(kg)	34.96 ^d	36.85 ^c	37.98 ^b	38.55 ^a	2.50	<0.01
日产奶量(kg/d)	27.53 ^c	28.44 ^b	29.78 ^a	29.98 ^a	1.40	<0.01
乳脂率(%)	3.04	3.06	3.10	3.02	0.16	0.15
乳蛋白率(%)	3.01	3.05	3.10	3.07	0.09	0.23
体细胞数(×10 ⁴ /mL)	46.30 ^a	38.21 ^b	35.11 ^c	35.30 ^c	1.20	<0.01

▲表3 不同喷淋流速对奶牛生产参数的影响

项目	喷淋流速(L/min)				SEM	P值
	0	0.4	1.2	4		
出现在采食通道的时间						
总时间(h)	3.41	3.76	3.65	3.31	1.02	0.320
次数	12.0a	10.5b	8.7c	7.5d	0.6	0.025
单次时间(min)	17.1c	21.50b	25.51a	26.32a	1.5	0.031
躺卧时间						
总时间(h)	5.35c	5.66b	5.95a	6.06a	0.8	0.041
次数	30.02	30.84	32.89	31.6	2.0	0.655
单次时间(min)	10.1	11.02	10.84	11.52	4.5	0.754
出现在水槽附近的时间						
总时间(h)	2.22	2.13	1.91	1.90	0.50	0.054
次数	7.70	7.50	6.81	6.72	1.50	0.314
单次时间(min)	17.30	17.00	16.80	16.95	5.80	0.247

▲表4 不同喷淋流速对奶牛行为的影响

结论

不同喷淋流速对奶牛夏季降温效果有显著影响，和0.4升/分钟相比，1.2升/分钟、4升/分钟处理能更显著增加牛舍采食通道环境指标，缓解热应激导致的奶牛呼吸频率、直肠体温升高，奶牛部分免疫反应，产奶量和采食量下降，并会减少奶牛进入喷淋区间的次数，缓解奶牛夏季热应激，但1.2升/分钟、4升/分钟组效果相似，所以从节水和降温的角度考虑，建议采用1.2升/分钟的喷淋降温流速。

(作者单位：农业农村部畜牧环境质量监督检验检测中心)

不同喷淋流速对奶牛夏季热应激行为有显著影响，和0.4升/分钟相比，1.2升/分钟、4升/分钟处理能更显著增加躺卧总时间、采食通道单次停留时间，且1.2升/分钟、4升/分钟组效果相似。

专家谈养殖

