

高寒地区牧草工厂化生产设备的设计与试验

单华佳,汪裕龙*,马金宝

(武威市畜牧兽医科学研究院,武威 733000)

摘要:为解决高寒地区饲草料短缺和无法种植常规饲草的矛盾,该文设计试制了一套简易植物工厂。在 10 m² 的彩钢房内设计安装了 8 组不锈钢牧草生产架,通过半自动化控制集装箱式牧草生产车间内植物生产所需的温度、湿度、光照、营养液循环等环境条件,实现了在高寒地区连续、快速、高效、节水环保地生产牧草的目的。生产试验结果表明,设施设备能够满足高寒地区牧草工厂化生产的需要,玉米生产的最佳播种量为 450 g/盘,经过 9 d 生产周期后可收获 1 891.5 g 新鲜玉米饲草,按此产能每年收获 36 茬牧草计算,在此集装箱式车间内每年可生产优质新鲜牧草 16.33 t。

关键词:环境调控;温度;加热;牧草;植物工厂;玉米;高寒地区

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.008

中图分类号:S24

文献标志码:A

文章编号:1002-6819(2016)-01-0062-06

单华佳,汪裕龙,马金宝.高寒地区牧草工厂化生产设备的设计与试验[J].农业工程学报,2016,32(01):62-67.

doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.008 <http://www.tcsae.org>

Shan Huajia, Wang Yulong, Ma Jinbao. Design and experiment of forage grass factory producing installation in alpine region[J].

Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(01): 62-67. (in Chinese with

English abstract) doi:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.01.008 <http://www.tcsae.org>

0 引言

高寒地区由于有丰富的天然草地资源,是各类优质畜产品的主要产地,素有“高原肉库”之称^[1-2]。近年来由于超载过牧、乱采滥挖等原因造成天然草地退化严重,天然草原产草量急剧下降^[3-4]。但草食家畜的饲草料需求是一种刚性需求,每个标准羊单位每年消耗 657 kg 干草,弹性很小^[5]。高寒地区积温不足,无霜期短,不适宜种植玉米、紫花苜蓿等常规饲草。在天然草原退化和围栏禁牧的双重压力下,饲草料短缺已经成为制约高寒地区草食畜牧业发展和草原生态建设的限制性因素^[6]。另一方面,草食家畜畜产品质量与饲草品质有密切的关系,饲喂新鲜牧草能够显著提高反刍家畜肉、奶等畜产品中的共轭亚油酸(CLA, conjugated linoleic acid)等功能性脂肪酸含量^[7-11]。近年来国内发生的“三聚氰胺”、“毒奶粉”、“瘦肉精”等畜产品安全问题不仅对中国奶业产生了巨大的冲击,更造成了极其恶劣的社会影响^[12]。2010 年,温家宝总理指出:“要彻底解决牛奶质量安全问题,必须从发展优质饲草产业抓起”,2012 年中央 1 号文件决定每年安排 5.25 亿元用于建设优质高产饲草示范基地^[13-14]。

植物工厂是依托于设施园艺、建筑工程、环境控制、材料科学、生物技术、信息技术等学科基础,知识与技术密集

型的集约型农业生产方式,能够通过设施内高精度环境控制实现农作物周年连续生产的高效农业系统^[15-16]。丹麦约克里斯顿农场于 1957 年建造了用于生产水芹太阳光利用型植物工厂,是世界上第一个的植物工厂^[17]。中国的相关研究起步较晚,在借鉴了世界主要发达国家经验和技术的的基础上得到了快速发展^[18]。2006 年中国农业科学院建造了国内第一个植物工厂,在随后的几年间,北京、吉林、山东等地相继建成了 20 多座不同类型的植物工厂^[19-20]。

牧草的生产性能是其遗传基因在不同环境条件下的兑现程度,这种生产潜能的实现与温度、水分、空气、光照、养分等环境因素密切相关^[21]。牧草工厂化生产是采用植物工厂的设计理念,通过对半封闭系统物质交换和环境调节创造适合牧草无土栽培的生长环境,实现牧草速生、优质、高产和经济效益最大化的目的^[22-23]。尽管近年来国内外各类植物工厂的研究已取得了丰硕的成果,但主要用于蔬菜和水果生产,且普遍存在建设费用与运行成本高的问题^[24]。国内专门针对牧草工厂化生产的研究还未见报道。本文通过对牧草生长所需的温度、湿度、光照以及营养液等条件因素进行半自动化控制,使立体水培设施内牧草生育不受或很少受自然条件制约的高效型生产,以解决制约高寒牧区草食畜牧业发展的饲草季节性、地域性短缺难题。

1 总体方案

在 10 m² 的彩钢房内设计建造一套集装箱式植物工厂用于牧草工厂化生产,设备结合雾培与浅水膜培技术,利用立体栽培提高单位面积产能,使用人工补光灯、自动水循环、自动加热等设施设备对牧草生产所需的温度、湿

收稿日期:2015-08-04 修订日期:2015-11-22

基金项目:甘肃省 2014 年秸秆饲料化利用项目(2130106)

作者简介:单华佳,男,甘肃兰州人,博士,高级畜牧师,武威市畜牧兽医科学研究院饲草饲料研究所负责人,主要从事牧草生产与加工利用研究。武威 武威市畜牧兽医科学研究院,733000。Email:shanhj@cau.edu.cn

*通信作者:汪裕龙,男,甘肃兰州人,高级兽医师,武威市畜牧兽医科学研究院院长,主要从事畜牧产业规划等相关研究。武威 武威市畜牧兽医科学研究院,733000。

度、光照、营养液等环境因素进行半自动化控制,以达到 10 m² 的车间内(有效生产面积 6.6 m²)年产(36 茬)鲜草 10 t 以上的优质高产、节水环保、快速便捷的牧草工厂化水培连续生产模式。

2 关键部件

2.1 不锈钢架与不锈钢水盘

为了达到降低设备成本、便于安装和使用目的,采用了简易不锈钢架与不锈钢水盘设计,两者的设计尺寸分别如图 1、图 2 所示。不锈钢架底部留 50 cm 的高度,用于摆放高压水泵、营养液处理池等设施设备。生产操作台共 6 层,每层中间焊接了一根拉杆,不锈钢水盘放在拉杆上可以避免因承重而发软。此外,补光灯管和高压雾化喷头都安装在拉杆上,起到固定的作用。使用的不锈钢方管及不锈钢板材等材料规格见表 1。

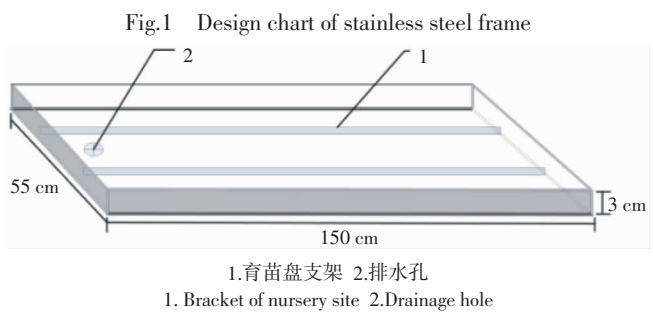
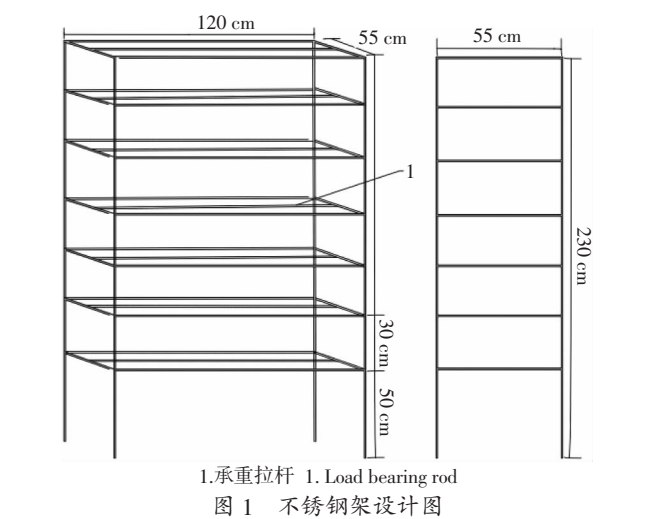


图 2 不锈钢水盘设计图

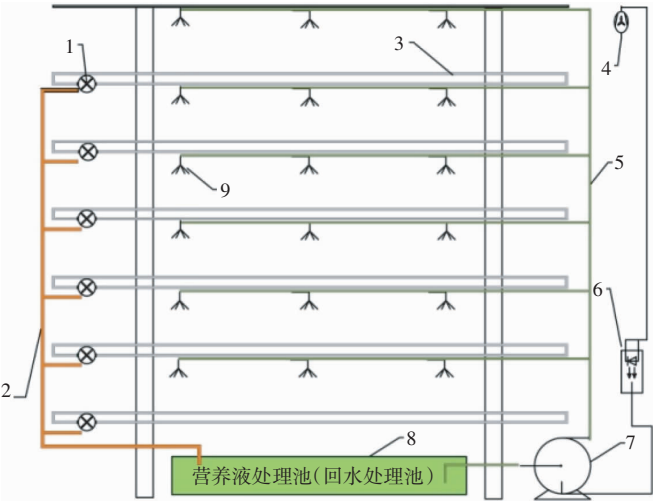
Table 1 不锈钢架与不锈钢水盘主要参数

参数 Parameters	数值 Values
不锈钢方管厚度 Thickness of stainless steel tube/mm	3
不锈钢方管规格 Standard specification of stainless steel tube/mm	30×30
不锈钢板材厚度 Thickness of stainless steel plate/mm	1
育苗盘支架高度 Height of bracket of nursery site/mm	10
排水孔直径 Diameter of drainage hole/mm	32

2.2 水循环系统

水(营养液)循环系统是牧草工厂化生产设备中的关键组成,包括供水系统和回水系统(图 3)。供水系统由连接湿度感应探头的湿度控制开关自动控制,分别设定湿

度下限和上限,当环境湿度低于下限时,开关自动启动高压水泵,将处理池中的水(营养液)抽送到雾化喷头,喷淋到育苗盘中,同时起到加湿的作用。当湿度达到上限时,开关自动关闭。喷淋的多余水分和营养液汇集在不锈钢水盘中,通过排水孔和回水管返回处理池,在处理池中进行加氧、有害物质去除和营养物质浓度调节。水循环系统主要的设备和材料参数如表 2 所示。



1.排水孔 2.回水管 3.不锈钢水盘 4.湿度感应探头 5.供水管道 6.湿度控制开关 7.高压水泵 8.营养液处理池 9.高压雾化喷头

1. Drainage hole 2. Backwater pipe 3. Stainless steel water pond 4. Humidity sensing probe 5. Water supply pipe 6. Humidity control switch 7. High pressure water pump 8. Nutrient solution tank 9. High pressure atomizing nozzle

图 3 水(营养液)循环系统

Fig.3 Water (nutrient solution) cycle system

表 2 水(营养液)循环系统主要参数

Table 2 Main parameters of water (nutrient solution) cycle system

参数 Parameters	数值 Values
相对湿度探头灵敏度 Sensitivity of humidity sensing probe/%	0.1
湿度控制开关额定功率 Rated power of humidity control switch/kW	4
高压水泵功率 Rated power of high pressure water pump/kW	3
高压供水管工作压力 Working pressure of water supply pipe/kPa	100
PVC 回水管规格 Standard specification of backwater pipe/mm	32
高压雾化喷头压力 Working pressure of atomizing nozzle/kPa	3
高压雾化喷头流量 Flow rate of atomizing nozzle/L·min	0.497
营养液处理池容积 Volume of nutrient solution tank/m ³	0.6

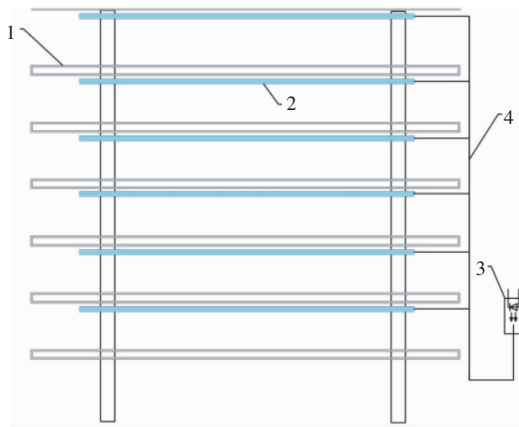
2.3 补光系统

光照是影响植物生长最重要的因素之一。为了保证牧草的快速生长,必须提供充足的光照。设计采用了色温为 6 500 K 的 T8 LED 一体化灯管,每层安装一根灯管,并联后用自动定时开关控制,每天定时补光。补光系统设计与灯管规格见图 4、表 3。

表 3 补光系统主要参数

Table 3 Main parameters of fill system

参数 Parameters	数值 Values
自动定时开关额定功率 Rated power of automatic timing switch/kW	1
T8 LED 灯管功率 Rated power of T8 LED tube/W	18
T8 LED 灯管照度 Illumination of T8 LED tube/lx	150~200



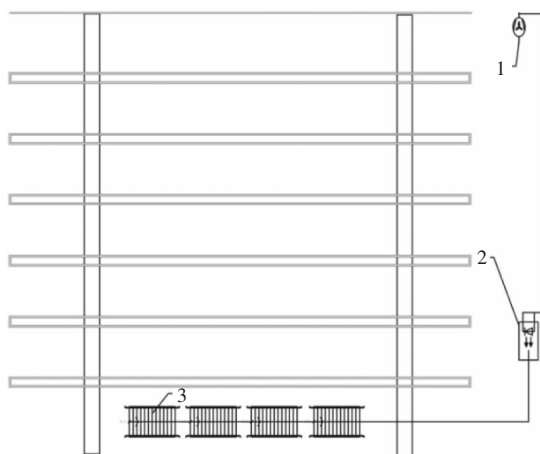
1.不锈钢水盘 2.T8 LED灯管 3.自动定时开关 4.并联电线
1.Stainless steel water pond 2. T8 LED tube 3.Automatic timing switch 4. Parallel wire

图4 补光系统

Fig.4 Fill system

2.4 加热系统

高寒地区气候寒冷,为了确保牧草快速生长,必须进行加热。牧草工厂化生产环境潮湿,因此选用了远红外陶瓷加热板(图5)。用温度控制器进行控制,设定牧草生长最适的温度上下限,当温度低于下限后自动加热,当达到上限后自动关闭。加热系统设备与材料的主要参数见表4。



1.温度感应探头 2.温度控制开关 3.远红外陶瓷加热板
1.Temperature sensing probe 2.Temperature control switch 3.Far infrared ceramic heating plate

图5 加热系统

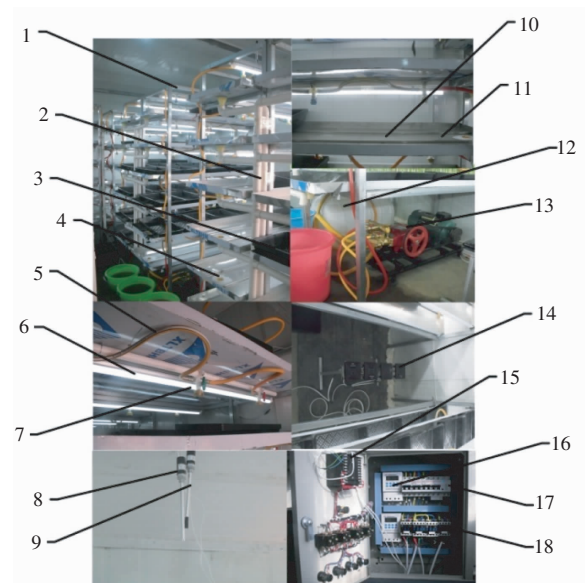
Fig.5 Heating system

表4 加热系统主要参数

Table 4 Main parameters of heating system

参数 Parameters	数值 Values
温度探头灵敏度 Sensitivity of temperature sensing probe/℃	0.1
温度控制开关额定功率 Rated power of temperature control switch/kW	6
远红外陶瓷加热板功率 Rated power of far infrared ceramic heating plate/kW	0.5

图6为本研究设计、试制的牧草工厂化设备最终的组装效果。在系统建设过程中,将温度、湿度、定时开关集成在自动控制箱中。



1.不锈钢架 2.回水管 3.育苗盘 4.排水孔 5.供水管 6.T8 LED补光灯 7.高压雾化喷头 8.温度感应探头 9.湿度感应探头 10.不锈钢水盘 11.育苗盘支架 12.营养液处理池 13.高压水泵 14.远红外陶瓷加热板 15.温度、湿度控制开关 16.自动定时开关 17.空气开关 18.电磁继电器
1.Stainless steel frame 2.Backwater pipe 3.Nursery site 4.Drainage hole 5. Water supply pipe 6. T8 LED tube 7.High pressure atomizing nozzle 8. Temperature sensing probe 9.Humidity sensing probe 10.Stainless steel water pond 11.Bracket of nursery site 12.Nutrient solution tank 13.High pressure water pump 14.Far infrared ceramic heating plate 15.Temperature and humidity control switch 16. Automatic timing switch 17.Air switch 18. Electromagnetic relay

图6 设备组装效果图

Fig.6 Installation effect diagram of equipment

3 生产试验

3.1 试验条件

本研究设计的牧草工厂化生产设备于2015年1月初在甘肃省武威市天祝县荣牧牛羊养殖专业合作社完成组装调试。在10 m²的集装箱式植物工厂内共组装了8组不锈钢生产架及配套设施,有效生产面积6.6 m²。2015年1月5日起进行了4批次的牧草工厂化生产试验。经测定,集装箱式植物工厂内的最低温度为-21℃,最高温度为-4℃。

3.2 试验材料

通过工厂化生产的前期牧草品种筛选试验,结果显示玉米是牧草工厂化生产的最佳材料。本次试验玉米种子材料为普通商品玉米(金凯3号),购自武威市金绿源农牧科技有限公司,收获后进行自然晾晒,水分含量≤13%后脱粒备用。玉米试验材料籽粒饱满,筛除杂质及破碎籽粒后千粒重为330 g,平均发芽率高于85%。

3.3 试验方法

试验所用育苗盘为54 cm×27 cm×6 cm的长方形芽菜盘,分别设置了300、350、400、450、500 g等5个播种量梯度处理。系统设置的温度上限为30℃,温度下限为26℃;相对湿度上限为85%,下限为65%;补光时间为7点至18点。

通过测定在相同条件下不同播种密度玉米生长高

度、生长量、根冠比等指标的影响,从而判断最佳播种量,并在此基础上测算牧草工厂化生产系统的产能与生产成本^[25-27]。平均生长高度随机测定 10 株玉米苗自然高度,生长量为当日称重质量,根冠比为收获后将叶片与根分别称重计算而来^[28-29]。每个处理设 5 个重复。

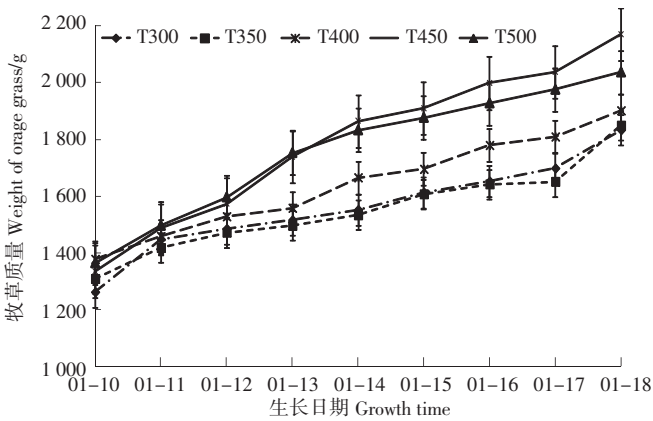
3.4 试验结果与分析

通过 4 批次玉米饲草工厂化生产试验,检验了牧草工厂化生产系统的可操作性和稳定性,水循环、补光、加热等装置互不干涉,能正常进行牧草的工厂化生产。图 7 为牧草工厂化生产设施的试验情况。第一批试验由于玉米籽粒浸种、催芽处理过程过短,导致试验结果不理想,生长周期延长了 2 d。第 2、3、4 批次试验结果基本一致,本文选择了第 2 次试验数据进行分析。



图 7 牧草工厂化生产设施试验情况
Fig. 7 Phototype experiment condition

图 8 为第 2 次牧草工厂化生产试验中不同播种量处理玉米生物量在 9 d 生产周期内增长分析结果。从结果中可以看出,每盘播种量为 450 g 时可获得最大玉米生物量 1 891.5 g,播种量为 300 g 时产量最低,仅为 1 555 g。当播种量为 500 g 时,产量比 450 g 播种量处理反而下降了 133 g,表明牧草生物量与播种量之间不呈线性关系。以每盘每茬产草量为 1 891.5 g 计算,本次设计的工厂化生产设施每年可产牧草 16.33 t。



注:图中的各处理生物量包括育苗盘重量(278g),T300、T350、T400、T450、T500 分别表示播种量为 300 g、350 g、400 g、450 g 和 500 g。
Note: Phytomass of different treatment including the weight of nursery site (278g). T300, T350, T400, T450, T500 represents seeding rate was 300g, 350g, 400g, 450g, and 500g respectively.

图 8 不同播种量牧草生物量测定结果

Fig. 8 Phytomass measures of forage grass growth with different seed quantity

表 5 是不同播种量处理玉米平均株高随生长的变化

趋势。经过 9 d 的生长,玉米平均株高都达到了 25 cm 左右。试验结果表明玉米平均株高与牧草产量之间没有显著的相关性,对产量影响比较大的主要因素是密度。

表 6 是不同处理平均日增重、增高、根冠比、生产成本等主要指标计算结果。玉米的根冠比与牧草产量存在明显的负相关关系,当玉米根冠比为 3.61,即玉米根系占牧草总质量的 78.35%时,牧草的产量最大。

表 5 不同播种量牧草平均株高测定结果

Table 5 Daily measures of forage grass height with different seed quantity(cm)

日期 Date	处理 Treatment				
	T300	T350	T400	T450	T500
01-11	4.66±0.01	4.77±0.02	4.69±0.02	4.57±0.01	4.37±0.02
01-12	8.81±0.02	8.33±0.02	8.58±0.02	7.93±0.02	7.96±0.02
01-13	11.35±0.03	11.63±0.01	11.57±0.02	11.13±0.02	11.27±0.02
01-14	15.17±0.01	15.22±0.04	15.09±0.03	14.96±0.01	14.87±0.01
01-15	18.74±0.04	18.5±0.05	18.8±0.03	18.05±0.02	18.67±0.04
01-16	21.03±0.03	20.82±0.03	20.93±0.04	20.05±0.04	20.04±0.03
01-17	23.35±0.03	22.66±0.02	22.88±0.04	21.5±0.03	21.89±0.03
01-18	25.83±0.05	25.41±0.05	25.34±0.02	24.96±0.05	25.03±0.02

表 6 牧草工厂化生产试验分析结果

Table 6 Main results of forage grass factory producing experiment

处理 Treatment	日增重 Daily gain/g	日增高 Daily heighten/cm	根冠比 Rootshoot ration	生产成本 Prime cost/yuan·kg ⁻¹
T300	172.78	2.87	3.26	0.66
T350	174.78	2.82	2.66	0.64
T400	181.44	2.81	2.52	0.56
T450	201.11	2.77	3.61	0.40
T500	195.33	2.78	3.52	0.44

注:牧草成本计算中玉米种子价格按时价 2.0 元/千克计;水费以 2.5 元/吨计;所耗电费未计入成本

Note: Corn seed cost 2yuan per kilogram, while water cost 2.5yuan per ton in the cost calculation. Forage grass factory costs do not include electric charge.

4 结论与讨论

植物工厂是一种新型农业模式,能够通过高精度环境控制实现设施内作物高效生产的农业系统。近年来中国植物工厂的研究与实践取得了一定成果,但将其应用到牧草生产的研究未见报道。本文设计试制了一套适用于高寒地区牧草工厂化生产的设施设备。在 10 m² 的彩钢房内设计了简易植物工厂,通过半自动化控制牧草生长所需的温度、湿度、光照等条件,实现连续、快速、节水、环保的牧草生产的目的。通过 4 批次牧草生产试验证明设施设备运行正常,能够满足牧草生产需要。最佳播种量为每个育苗盘 450 g,经过 9 d 的生产周期后能收获生物量为 1 891.5 g 最大产量。按此产量计算,8 组架子每年生产 36 茬一共可生产牧草 16.33 t,实现了年产 10 t 鲜草的预期目标。此设备与技术的推广应用能够解决牛羊产业大县饲草短缺的现实难题,也可为不适宜种植常规饲草的高寒牧区提供充足饲草饲料保障。

但另一方面,作为一种探索性研究,本文设计开发的牧草工厂化生产系统和技术还存在一些不足。主要包括

以下几个方面:

第一,高能耗问题。这是包括本设计在内所有植物工厂推广应用难的关键制约因素之一。为了降低牧草工厂化生产设施设备的建设投入成本,本文设计试制的简易生产设备以彩钢房为生产车间,密闭保暖性能差,加之使用远红外陶瓷加热器调控车间内的温度,热转化效率低。在天祝县-21℃环境条件下生产牧草,电能消耗会导致牧草生产成本提高至2.4元/kg。对于养殖企业和农户来说,成本上升导致效益下滑,进而打击新设备、新技术示范推广积极性。经过反复论证,今后可以通过以下3种途径来解决高能耗问题对牧草工厂化生产系统的制约:一是扩大规模,通过规模效应使成本分摊;二是将生产车间设置在保暖性较好的环境中,例如日光温室内等,降低能耗;三是采用低成本的加热装置,例如地暖、暖风机等。

第二,玉米种子发芽率低的问题。为了最大限度降低牧草工厂化生产成本,在试验过程中使用价格最低的普通商品玉米,即养殖场中用于饲喂家畜的玉米籽粒。养殖场在玉米成熟季节从农户手中收购后立即装入仓库,并没有安装种子处理要求进行晾晒等处理,而且部分种子收购时水分较大、保存过程中受冻失活,造成玉米籽粒发芽率较低,导致在牧草工厂化生产过程中种子用量较大。在生产实践当中,可以通过提前收购、晾晒降低水分、防冻等措施来提高玉米籽粒的发芽率,进而减少种子用量,降低成本。

第三,牧草工厂化生产指标体系未确定。本次设计与试验主要是为了试制一套用于牧草生产的植物工厂设备,并检验设备的实用性和稳定性。在不同地区自然环境下,进行牧草工厂化生产的温度、湿度、补光等指标体系必然不尽相同,因此并未建立统一的指标体系。在今后的研究过程中,应根据具体试验示范地区的气候特征明确指标体系,制定详尽的生产技术规程。

[参 考 文 献]

- [1] 沈景林,张光圣,苑吉魁. 高寒地区栽培牧草的生产性能和营养价值研究[J]. 草业科学,1997,14(4):28-32.
Shen Jinglin, Zhang Guangsheng, Yuan Jikui. Production performance and nutritive value of cultivated herbages in alpine area[J]. Pratacultural Science, 1997, 14(4): 28-32. (in Chinese with English abstract)
- [2] 沈景林,孟杨,谭刚. 高寒地区栽培牧草产量及其营养价值研究[J]. 草业科学,1999,16(5):5-9.
Shen Jinglin, Meng Yang, Tan Gang. Studies on yield and nutritive value of cultivated forages in Alpine region [J]. Pratacultural Science, 1999, 16(5): 5-9. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杜际增,王根绪,李元寿. 近45年长江黄河源区高寒草地退化特征及成因分析[J]. 草业学报,2015,24(6):5-8.
Du Jizeng, Wang Genxu, Li Yuanshou. Rate and causes of degradation of alpine grassland in the source regions of the Yangtze and Yellow Rivers during the last 45 years[J]. Acta Pratacultural sinica, 2015, 24(6): 5-8. (in Chinese with English abstract)
- [4] 赵雪雁. 高寒牧区草地退化的人文因素研究:以甘南牧区玛曲县为例[J]. 草业学报,2007,16(6):113-120.
Zhao Xueyan. Research on human dimensions of grassland degradation in high, cold pasture areas:a case of Maqu County in Gannan pasture area[J]. Acta Pratacultural sinica, 2015, 24(6): 5-8. (in Chinese with English abstract)
- [5] 李佳晓. 中国分区域牧草供需测算及解决路径研究 [D]. 北京:中国农业科学院,2012.
Li Jiaxiao. The Study on Forage Supply and Demand in China's Different Areas and Sggestions[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [6] 负旭疆. 高寒地区营养体农业的原理与效率研究[D]. 兰州:甘肃农业大学,2002.
Yun Xujiang. The Efficiency and The Principle of Vegetative Agriculture in Alpine Region of Qinghai- Tibetan Platrau of China [D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2002. (in Chinese with English abstract)
- [7] Arvidsson K, Gustavsson A M, Martinsson K. Effects of conservation method on fatty acid composition of silage [J]. Animal Feed Science and Technology, 2009, 148: 241-252.
- [8] Reklewska B, Bematowicz E, Reklewski Z, et.al. Concentration of milk functional components in Black-and-White cows, depending on the season and feeding system [J]. Zeszyty Naukowe Przegl adu Hodowlanego, 2003, 68: 85-98.
- [9] Dhiman T R, Satter L D, Pariza M W. Conjugated linoleic acid content of milk from cows offered diets rich in linoleic acid[J]. Journal of dairy Science, 2000, 83:1016-1027.
- [10] Dhiman T R. Conjugated linoleic acid content of milk from cows fed different diets [J]. Journal of dairy Science, 1999, 82: 2146-2156.
- [11] 程茂基,杜波. 玉米青贮饲料中共轭亚油酸的含量研究[J]. 畜牧与饲料科学,2006,27(2):23-25.
- [12] 单华佳. 青贮玉米发酵过程中脂肪酸降解机理 [D]. 北京:中国农业大学,2013.
Shan Huajia. Mechanism of Fatty Acid Degradation in Silage Corn During Fermentation Process[D]. Beijing, China Agricultural University, 2013.
- [13] 燕玉海. 发展优质饲草产业促进牛奶品质提高[EB/OL]. 中国农业新闻网,2011. http://www.farmer.com.cn/agri/xmsy/xmdt/201106/t20110614_652337.htm
- [14] 林晖,董峻. 农业部在锦州召开“振兴奶业苜蓿发展行动”现场会[EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网,2013. http://www.gov.cn/jrzq/2013-06/07/content_2422195.htm
- [15] 贺冬仙,朱本海,杨珀,等. 人工光型密闭式植物工厂的设计与环境控制[J]. 农业工程学报,2007,23(3):151-157.
He Dongxian, Zhu Benhai, Yang Po, et al. Design and environment control of closed plant factories with artificial lighting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(3): 151-157. (in Chinese with English abstract)
- [16] 涂俊亮,邱权,秦琳琳,等. 微型植物工厂内部环境调控试验平台研制及试验[J]. 农业工程学报,2015,31(2):184-190.
Tu Junliang, Qiu Quan, Qin Linlin, et al. Development and test on experimental platform for inner environmental control of micro plant factory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(2): 184-190. (in Chinese with English abstract)
- [17] 杨其长,张成波. 植物工厂系列谈(二)植物工厂研究现状及发展趋势[J]. 农村实用工程技术:温室园艺,2005(6):38-39.
- [18] 刘晓洁,杨剑坤. 植物工厂数字农业的革命[J]. 文明,2011(3):28-49.
- [19] 余锡寿,刘跃萍. 植物工厂的产生、发展与未来[J]. 农业展望,2012,8(4):39-43.
- [20] 罗肖佳. 智能型植物工厂[J]. 技术与市场,2010,(6):105-105.
- [21] Chung T Y, Nwokolo E N, Sim J S. Compositional and digestibility changes in sprouted barley and canola seeds [J]. Plant Foods for Human Nutrition, 1989, 39(3): 267-278.
- [22] Fazaeli H, Golmohammadi H A, Shoayee A A, et al. Performance of feedlot calves fed hydroponics fodder barley[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2011, 13: 367-375.
- [23] Naik P K, Swain B K, Singh N P. Production and utilisation of hydroponics fodder[J]. India Journal of Animal Nutrition, 2015,

- 32(1): 1–9.
- [24] Kadim I, Othman Y, Ajmi A A, et al. Yield and water use efficiency of barley fodder produced under hydroponic system in GCC countries using tertiary treated sewage effluents[J]. *Journal of Phytology*, 2014, 6(2): 1–5.
- [25] Leontovich V P, Bobro M A. Technology of continuous growing of hydroponic fodder[J]. *Russian Agricultural Sciences*, 2007, 33 (4): 239–241.
- [26] Fazaeli H, Golmohammadi H A, Tabatabayee S N, et al. Productivity and nutritive value of barley green fodder yield in hydroponic system[J]. *World Applied Sciences Journal*, 2012, 16 (4): 531–539.
- [27] Al-Karaki I G N, Al-Hashimi M. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions [EB/OL]. International Scholarly Research Network, 2012. <http://downloads.hindawi.com/journals/isrn.agronomy/2012/924672.pdf>
- [28] Kumar S. Hydroponics fodder technology interventions for green fodder[J]. *India Cow: The Scientific and Economic Journal*, 2012, 8(31): 36–43.
- [29] Verma S, Singh A, Kalra A, et al. Effect of feeding hydroponics barley (*hordeum vulgare*) fodder on nutrient utilization, growth, blood metabolites and cost effectiveness in Haryana Male Calves [J]. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 2015, 32(1): 10–14.

Design and experiment of forage grass factory producing installation in alpine region

Shan Huajia, Wang Yulong*, Ma Jinbao

(Wuwei Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Wuwei 733000, China)

Abstract: Forage grass is an important material basis and security guarantee for the development of livestock industry. Forage grass with high quality not only provides adequate nutrition for livestock, but also has important impact on the quality of livestock products. Alpine areas are not suitable for planting corn, alfalfa, and other conventional forage grass because of the insufficient accumulated temperature and transient frost-free season. However, the forage grass requirement of herbivorous livestock is large, for example, one sheep requires 657 kg hay per year, and it is very inelastic. In this case, shortage of forage grass has become a key limiting factor of herbivorous animal husbandry development and grassland ecological construction due to the dual pressures of the natural grassland degradation and the grazing blocked by fencing in alpine region. Plant factory is a new agricultural model which can achieve the purpose of efficient crop production by high-precision environmental control in facility. Though research and practice of plant factory in China have achieved the gratifying results in recent years, applying this technology to the forage grass production is still blank. For the energy-saving production of fresh forage grass in poor environment such as the alpine region, a container-type plant factory was designed and tested. To maximize space usage of the production departments, a six-level hydroponic cultivation system (1.5 m×0.55 m×2.3 m) (length×width×height) was installed. Semi-automatic control of artificial lighting lamps, automatic water circulation, and automatic heating facilities were used to optimize temperature, humidity, light, nutrient solution, and other environmental factors on forage grass production. In a plant factory, the optimal control for obtaining higher yield and better quality of plants was essential. Optimal regulators with temperature sensing probe and humidity sensing probe were used to control the water status and growth temperature of forage grass, and the nutrient solution was supplied by bottom watering. Light emitting diode (LED) fluorescent lamp was controlled by an automatic timing switch. All installation and debugging of facilities and equipments had been completed in a farming cooperatives of Tianzhu County, Gansu Province. Four batches of forage grass production experiments were carried out in January 2015 in order to test the operation and production capacity of equipment. The ordinary merchandise maize (Jinkai 3) bought from Jin Lvyuan Farming Technology Company was used as the experimental material. Maize after harvest was dried to a moisture content that was below 13% and then threshed for later use. The thousand kernel weight of experimental maize after the screening of impurities and broken grains was 330 g while the germination rate was higher than 85%. Temperature of the forage grass factory under natural conditions was between −21 and −4 °C. According to the dimension of seedling tray used in this experiment (54 cm×27 cm×6 cm), we set up 5 treatments with different seed quantity of 300, 350, 400, 450 and 500 g) and each had 5 replicates. The upper and lower limit of the forage grass factory temperature were set to 30 and 26 °C, respectively, and those of relative humidity were set to 85% and 65%, respectively. Supplementary illumination time was from 7:00 to 18:00. The effects of different planting densities on height, growth, root-shoot ratio and other indicators of forage grass were detected under the same conditions. And then the optimum seeding rate and productivity of the system were determined. The first batch of test material was sowed on January 5, 2015. Nine days after planting, the hydroponic forage grass with the seed quantity of 450 g showed the best production performance. The average height and yield were reached 24.96 cm and 1 891.5 g respectively, while the cost reduced to 0.4 yuan producing 1 kg fresh grass. On this calculation, this container-type plant factory could produce 16.33 ton fresh forage grass. Test results show that this factory production installation can meet the needs of pasture plant production in alpine region.

Keywords: environmental regulations; temperature; heating; forage grass; plant factory; corn; alpine region