

不同棚式育秧对寒地水稻产量及其构成要素的影响

杜国明 姜莹莹 刘钊

(东北农业大学 公共管理与法学院, 哈尔滨 150030)

摘要 为探究寒地水田区最佳的育秧模式,以优质粳稻品种‘龙粳31’为试验材料,设置超级大棚、标准大棚和传统小棚等3种棚式,分析不同棚式育秧对寒地水田区秧苗素质、水稻产量及构成因素的影响。结果表明:2种大棚的增温、控温效果明显优于传统小棚,适宜春季水稻幼苗生长;超级大棚所育秧苗的株高、根长、穗长和根重等秧苗素质数据均优于其他2种育秧棚式,传统小棚的弱苗率最高达24%,超级大棚的弱苗率最低为8%;2种大棚所育秧苗的生育期较传统小棚缩短1周时间;超级大棚、标准大棚秧苗有效穗数较传统小棚分别提高15.83%和4.80%;超级大棚、标准大棚秧苗全粒数分别较传统小棚高出3.52和1.47粒/穗;超级大棚、标准大棚秧苗每穗实粒数分别较传统小棚高出2.10和2.16粒/穗;标准大棚水稻结实率较传统小棚提高0.18%;超级大棚的产量较标准大棚和传统小棚分别提高3.21%和7.75%。

关键词 棚式; 育秧; 寒地水稻; 产量; 产量构成要素

中图分类号 S511.4;S318

文章编号 1007-4333(2020)01-0048-08

文献标志码 A

Effects of different shed raising seedlings on rice yield and its components in cold area

DU Guoming, JIANG Yingying, LIU Zhao

(School of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract In order to explore the best seedling-raising model in cold paddy field, taking the high quality *japonica* rice variety ‘Longjing 31’ as the experimental material, and setting up three kinds of raising seedling shed types, such as super shed, standard shed and traditional shed, the effects of different shed types on seedling quality, rice yield and composition factors in cold paddy area were explored. The results showed that the temperature control effect of the two kinds of bigger shed was obviously better than that of the traditional shed, which was suitable for rice growth. The plant height, root length, ear length, root weight and other seedling quality data in super shed were better than those in the other two types of shed. The weak seedling rate in the traditional shed was the highest, and the weak seedling rate in the super shed was the lowest, and the growth period of the seedlings in the two kinds of bigger shed was one week shorter than that in the traditional shed. The number of effective panicles in the super shed and the standard shed were increased by 15.83% and 4.80%, respectively. And the total grain number in the super shed and the standard shed were 3.52 and 1.47 grains/ear higher than those in the traditional shed respectively. The number of solid grains per panicle in the super shed and the standard shed was 2.10 and 2.16 grains/ear higher than that in the traditional shed, respectively; the seed setting rate of rice in the standard shed was 0.18% higher than that in the traditional shed; the yield of super shed was 3.21% and 7.75% higher than that of standard shed and traditional shed, respectively.

Keywords shed; raising seedlings; rice in cold area; rice yield; yield components

水稻作为中国主要的粮食作物,每年种植面积达3 000万 hm^2 ,解决了中国60%以上人口的主食

需求,有效地缓解了中国的粮食压力^[1-2]。当前中国农业正处于转型发展、提档升级的关键时期,耕地质

收稿日期:2019-03-09

基金项目:国家自然科学基金项目(41571167);黑龙江省博士后科研启动金资助项目(LBH-Q17018)

第一作者:杜国明,教授,主要从事土地资源优化配置与农村区域发展研究,E-mail:nmgdgm@126.com

量下降、面积减少和土壤污染等问题凸显。同时,随着“谷物基本自给、口粮绝对安全”的粮食安全战略以及质量兴农战略的实施,水稻高产增产愈来愈呈现出举足轻重的作用^[3-4]。三江平原处于中国中温带的最北部,作为粳稻主产区,2015年水稻种植面积达265.02万hm²,约占黑龙江省种植总面积的84.19%,为全国粳稻种植总面积的27.61%,该地区的水稻生产直接影响全国水稻产量及稻米粮食安全^[5]。但高纬度导致的生长期短和积温低是长期以来制约水田面积扩张和水稻产量提升的主要因素^[6]。近年来,棚室育秧技术的不断进步,有效地提高水稻的秧苗素质,促进水田扩张和水稻产量提升。探究不同棚室育秧方式对水稻产量及其构成要素的影响,对于推广先进棚室育秧技术、提升水稻产量和保障口粮绝对安全具有重要意义。

近年来,针对水稻产量及其产量构成要素的影响机制已有很多的研究,主要包括通过对比试验,探究不同灌溉方式、温度处理、种养模式、耕作栽培技术、肥料施用量和插秧密度等因素对于水稻产量及其构成要素的影响^[7-12]。如聂晓等^[7]通过进行浅水—间歇灌溉、湿润—间歇灌溉和淹灌3个对比试验,探究不同灌溉方式下水稻产量及构成要素的差异;张玮玮等^[8]通过进行夜间增温及常温对照两个试验,深入探究了夜间增温对于水稻生产的影响;禹盛苗等^[9]通过6个试验处理,探究不同复合种养模式下水稻产量及产量构成因素的差异;钱永德等^[10]通过对比分析保护性耕作和常规耕作水稻产量及产量构成要素的差异,探究保护性耕作对水稻产量及构成要素的影响,同时也进一步阐明了保护性耕作栽培技术的增产机理;张兆健等^[11]通过对不同氮肥施用水稻产量及构成要素的差异分析,探究免耕抛秧栽培条件下的水稻最佳施氮量;赵海红^[12]通过对比试验分析不同插秧密度处理组合下的水稻产量及构成要素的差异,确定水稻高产的最佳插秧密度。

目前,探究不同棚式育秧对水稻产量及其构成要素的影响的研究鲜有报道。三江平原农垦地区(以下简称“垦区”)水稻育秧主要采用超级大棚和标准大棚2种棚式,但在普通农村地区(以下简称“农区”)育秧棚式主要为传统小棚和少部分的标准大棚。因此,本研究开展超级大棚、标准大棚和传统小棚3个对比试验,监测并对比3种棚式内温度、水

稻秧苗素质、生育期及产量构成因素,对水稻产量进行测算,旨在探究寒地水稻最佳的育秧模式,以为寒地水田区水稻种植提供技术借鉴,促进农业现代化发展及土地整治项目实施。

1 试验材料与方法

1.1 试验地点与供试材料

本试验2017年于黑龙江农垦建三江分局农业科技园区内开展。该科技园区地处中温带大陆性季风气候区,年平均气温在2.5℃左右,最高气温在37.5℃左右,最低气温可达到-41℃,全年无霜期135d左右,有效积温达2500℃以上,年均降雨量在573mm左右,年径流量达140mm。超级大棚和标准大棚内采用营养土育秧,传统小棚内土壤为本地草甸白浆土。

试验材料为‘龙梗31’,该粳稻品种主茎11片叶,千粒重约为26.3g,株高约为92cm,穗长约为15.7cm,每穗粒数约为86粒,出苗至成熟的整个生育期约为130d,需要≥10℃活动积温在2350℃左右,较适宜在黑龙江省第三积温带上限地区种植,作为试验品种在三江平原的中部和北部地区具有较高的代表性。

1.2 试验设计

本试验共设3个处理,1)超级大棚,即工厂化超级大棚育秧方式,标准为:长100m、宽12.5m、高3.4m;2)标准大棚,即宽床开闭式大棚早育秧方式,标准为:长60m、宽6m、高2.8m;3)传统小棚,即塑料膜小棚早育秧方式,标准为:长15m、宽2.5m、高0.6m。

标准大棚育秧与超级大棚育秧的培育方式相同,均采用:在播种前,利用旋耕机和平地机来进行地块平整,进行机械化作业形成标准的旱秧池后,在育秧硬盘内平铺已培育好的厚度为2cm的营养土并均匀摆放,在均匀喷洒肥料后进行平整,进行均匀播种,在表面覆盖厚度为0.3~0.5cm未经过培肥的细土,沟水浸润后进行地膜覆盖,在后续培育过程中进行适度的水分管理。

传统小棚早育秧培育方式:选取在园区内距水源较近一块长为15m、宽为2.5m的旱地地块,经过地块平整、播种、施肥、浇水和覆膜等过程,与2种大棚棚式保持相同的管理方法。

3种试验处理主要采用常规传统的早育秧方式,且秧田管理方法保持一致。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 播种至移栽前棚内温度趋势

4月15日—28日每天9:00和15:00对3种棚内的温度进行观测并记录,并计算上下温度的差异(即下午棚内温度减去上午棚内温度)。

1.3.2 秧苗素质测定

于5月10日和9月25日分别进行了3种棚式秧苗素质对比记录工作,分别从育秧棚或水田中切取10 cm×10 cm秧块,从秧盘上抽取25株长势较好的秧苗进行分析,对秧苗叶龄进行观察并记录,利用卡尺工具准确测量株高、茎基宽、根数和根长等数据;使用水平秤对鲜物质重、干物质重和根重等指标数据进行准确称重。

1.3.3 生育期观测

对3种育秧棚内秧苗的出苗时间进行记录,同时对水稻秧苗的叶龄情况进行记录。

1.3.4 水稻产量测产

分别随机选取3种处理下处于齐穗期的20株水稻,对有效穗数及平均数进行观测记录。理论产量测定于9月25日进行,将平均有效穗数作为选取标准,分别从3种处理中选取10株处于成熟期的水稻进行单位面积有效穗数、每穗粒数、千粒重和结实

率等产量构成要素测定^[13],区分标记收获期的3种处理下所育水稻,在晾晒后进行水稻质量和含水量的测算工作,按照公式及标准含水量的13.5%进行计算,得出水稻的实际产量^[14]。

$$\text{理论产量} = \text{单位面积有效穗数} \times \text{穗粒数} \times \text{结实率} \times \text{千粒重} \div 10^6 \times 15^{[14]}$$

1.3.5 数据分析

本研究利用Excel 2007软件进行数据录入、统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同棚式棚内温度的比较

图1可知,水稻出苗至移栽期,4月15日—19日每天9:00传统小棚的棚内温度高于超级大棚和标准大棚,而对比4月19日—27日9:00的育秧棚棚内温度来看,传统小棚棚内温度明显低于超级大棚和标准大棚2种大棚棚式,这说明2种大棚受光面积大,增温快且控温效果较好,一段时间内也会保持在较高的温度。在4月25日之后,2种大棚的棚内温度趋于平稳而传统小棚温度还处于不稳定波动状态,其温度波动差异达到5℃左右。

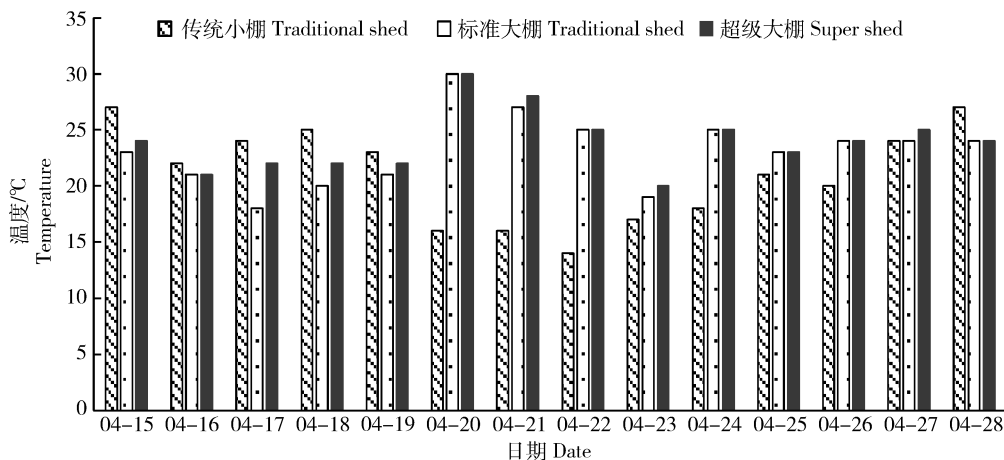


图1 出苗至移栽期3种棚式9:00棚内温度变化

Fig.1 Variation of temperature in three types of shed at 9:00 from seedling emergence to transplanting period

对比3种棚式棚内每天15:00的温度变化(图2),可以发现2种大棚棚内温度变化规律趋于一致且较小棚温度稳定。4月15日—19日传统小棚的温度高于其他2种大棚,且呈波动性变化,2种大棚棚内温度的波动要小于传统小棚内的温度变化,温度较为稳定。4月20日—28日,传统小棚的

温度要明显低于其他2种大棚棚式,且温度呈波动性变化,而2种大棚棚内温度均保持在适宜生长的25℃左右^[15]。通过分析可知,当下午光照减弱时,2种大棚通过调节自动卷帘门及室内温度控制器对棚内温度进行控制,为水稻生长创造适宜的生长环境。而传统小棚多为塑料薄膜材质,棚内温度升高

后,当下午温度降低时,棚顶会汽化产生水珠,产生一定的降温作用^[16],导致传统小棚棚内温度很低,

几乎降至水稻生长发育的下限温度 10 ℃ 左右^[17],不适宜水稻秧苗的生长发育。

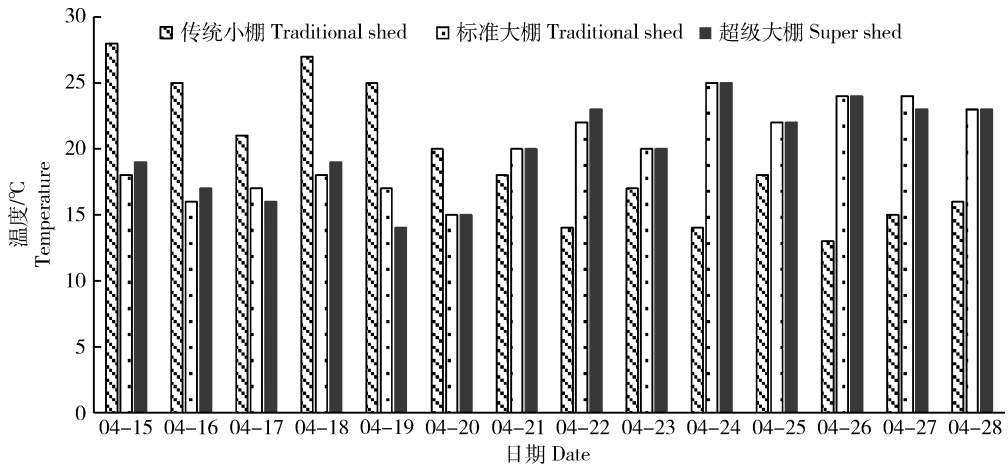


图 2 出苗至移栽期 3 种棚式 15:00 棚内温度变化

Fig. 2 Variation of temperature in three types of shed at 15:00 from seedling emergence to transplanting period

对比出苗期至移栽期 3 种棚式棚内上下午温差变化(图 3),2 种大棚的温差变化趋于一致,只有 4 月 20 日由于超级大棚通风时间较长导致其温差较大,其他时间内的上下午温差变化相对稳定,而传统小棚

的温差变化幅度较大。传统小棚受光面积较小,上午升温相对较慢、棚内温度偏低,中午时棚内温度达到最高,下午温度降低时,棚顶会产生一定的降温作用,且传统小棚控温效果不强,导致棚内温度差异变化较大。

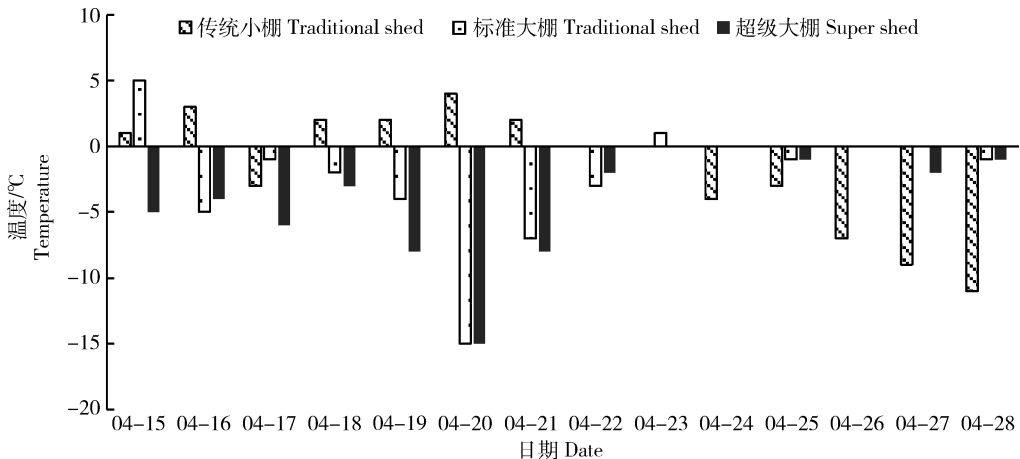


图 3 出苗至移栽期 3 种棚式棚内上下午温差变化

Fig. 3 Variation of temperature difference between afternoon and afternoon in three types of shed from seedling emergence to transplanting period

2.2 不同棚式育秧对水稻秧苗素质的影响

秧苗素质高低对水稻的插秧成活率、生长情况及最终产量具有直接的影响^[17-18],因此进行 3 种棚式秧苗素质的对比分析。表 1 可知,通过对比 5 月 10 日 3 种育秧棚水稻秧苗素质,超级大棚和标准大棚培育的水稻秧苗平均龄期为四叶一心,具备分蘖能力,可以进行机械化插秧。但传统小棚的水稻秧

苗龄期为三叶一心,直到 5 月 17 日才能达到插秧标准,育秧时间延长 7 d。在株高方面,传统小棚秧苗株高为 9.10 cm,超级大棚和标准大棚秧苗株高分别比传统小棚高出 1.84 和 2.40 cm;从根长这一指标来看,传统小棚所育秧苗根长为 2.86 cm,超级大棚和标准大棚分别比传统小棚高出 0.60 和 0.14 cm;在根数方面,传统小棚秧苗的根数为

5.0个,超级大棚和标准大棚秧苗分别比其高出2.4和1.5个;根重方面,传统小棚秧苗根重为0.5g,超级大棚和标准大棚秧苗分别比其高出0.3和0.2g;在茎基宽方面,传统小棚秧苗茎基宽为0.29cm,标准大棚秧苗茎基宽为0.28cm,超级大棚分别较传统小棚和标准大棚秧苗高出0.01

和0.02cm;在弱苗率方面,超级大棚每25株秧苗弱苗数为2株,其弱苗率最低为8%,标准大棚的弱苗率为18%,传统小棚弱苗率最高达24%。分析3种棚式所育秧苗素质的各项指标,超级大棚的秧苗素质优于标准大棚,传统小棚所育秧苗的素质最低。

表1 不同棚式秧苗素质统计

Table 1 Seedling quality of different shed types

处理 Treatment	株数/株 Number of plant	株高/cm Plant height	根长/cm Root length	根数 Number of root	根重/g Root weight	茎基宽/cm Stem base width	弱苗率/% Weak seedling rate	鲜物质重/g Fresh material weight	秧苗龄期 Ages of seedling
超级大棚 Super shed	25	10.94	3.46	7.4	0.8	0.30	8	4.5	四叶一心
标准大棚 Standard shed	25	11.50	3.00	6.5	0.7	0.28	18	4.1	四叶一心
传统小棚 Traditional shed	25	9.10	2.86	5.0	0.5	0.29	24	3.5	三叶一心

分别选取3块本田中具有代表性的水稻各10株,对比3种棚式育秧水稻在8月25日生长后期的秧苗素质,主要选取秧苗的根长、株高和穗长等性状进行对比分析,见表2。在株高方面,传统小棚秧苗株高为87cm,超级大棚和标准大棚秧苗分别较其高出8和5cm;在根长方面,传统小棚秧苗根长为19cm,超级大棚和标准大棚

秧苗分别较小棚高出5和2cm;在穗长方面,传统小棚秧苗穗长为14.5cm,超级大棚和标准大棚秧苗分别较小棚高出3.5和2.0cm。3种育秧棚式所育水稻在3个月的生长后,各项生长指标存在着显著差异,超级大棚所育秧苗素质明显优于其他2种育秧棚式,传统小棚所育秧苗目标性状最差。

表2 不同棚式育秧后期秧苗素质统计表

Table 2 Seedling quality of different shed type seedling

棚式 Shed	rearing in later stage		
	株高 Plant height	根长 Root length	穗长 Ear length
超级大棚 Super shed	95	24	18.0
标准大棚 Standard shed	92	21	16.5
传统小棚 Traditional shed	87	19	14.5

2.3 不同棚式育秧对生育期的影响

表3可知,在出苗时间方面,传统小棚在4月19

日出苗,而超级大棚和标准大棚均在4月14日出苗,与大棚育秧相比,出苗时间推迟5d。在5月10日观

测时发现,传统小棚秧苗较大棚秧苗叶龄少1片叶,还需再长1周的时间才具备插秧条件。依据秧龄对2种棚式内秧苗进行插秧移栽,其中5月10日对超级大棚秧苗进行插秧移栽,其秧龄为32 d;于5月11日标准大棚秧苗进行移栽插秧,秧龄为33 d;5月17日

传统小棚秧苗进行插秧,秧龄为39 d。对比3种棚式秧苗的生育期,2种大棚所育秧苗的生育进程基本相同。传统小棚和其他2种大棚棚式相比,由于出苗晚且叶龄不符合插秧条件,其插秧期较超级大棚推迟7 d,导致其后期生育进程推迟1周时间。

表3 不同棚式水稻生育日期统计表

Table 3 Rice growth stages in different shed types

处理 Treatment	秧龄/d Seedling age	播种日期 Seeding date	插秧日期 Transplanting date	返青日期 Regreening date	分蘖日期 Tillering date	始穗日期 Initial heading date	齐穗日期 Full heading date	成熟日期 Maturation date
超级大棚 Super shed	32	04-08	05-10	05-19	06-01	07-19	07-24	09-06
标准大棚 Standard shed	33	04-08	05-11	05-19	06-01	07-20	07-26	09-07
传统小棚 Traditional shed	39	04-08	05-17	05-25	06-08	07-27	08-02	09-14

2.4 不同棚式育秧对水稻产量构成要素及产量的影响

表4可知,在有效穗数方面,与传统小棚所育水稻有效穗数417穗/m²相比,相比超级大棚和标准大棚较传统小棚分别提高15.83%和4.80%;在全粒数方面,与传统小棚全粒数83.97粒/穗相比,超级大

棚和标准大棚分别较传统小棚高出3.52和1.47粒/穗;在每穗实粒数方面,传统小棚每穗实粒数最低为79.75粒/穗,超级大棚、标准大棚分别较其高出2.10和2.16粒/穗;在结实率方面,标准大棚结实率较传统小棚提高0.18%。3种育秧方式下的水稻千粒重没有明显差异。

表4 不同棚式水稻产量及其构成要素统计表

Table 4 Rice yield and its components in different shed types

处理 Treatment	有效穗数/ (穗/m ²) Efficient spike number	每穗总粒数 Grain number per panicle	每穗实粒数 Filled grain number per panicle	结实率/% Seed setting rate	千粒重/g 1 000-grain weight	理论产量/ (kg/hm ²) Theoretical yield	实际产量/ (kg/hm ²) Actual yield
超级大棚 Super shed	483	87.49	81.91	93.60	26.3	10 327.35	9 301.50
标准大棚 Standard shed	437	86.02	81.85	95.15	26.3	9 535.95	9 012.00
传统小棚 Traditional shed	417	83.97	79.75	94.97	26.3	9 031.05	8 632.50

表4所示,超级大棚所育水稻的理论产量、实际产量分别为10 327.35和9 301.50 kg/hm²;标准大

棚所水稻的理论产量、实际产量分别为9 535.95和9 012.00 kg/hm²;传统小棚所育水稻的理论产量、

实际产量分别为 9 031.05 和 8 632.50 kg/hm²[14]。由于后期生长过程中各种因素的影响,3 种育秧大棚的实际产量均低于理论产量,但超级大棚所育水稻的实际产量仍高于标准大棚和传统小棚,超级大棚的产量较标准大棚高出 3.21%,较传统小棚产量高出 7.75%。通过对水稻的产量及产量构成因素进行测算,对比 3 种育秧棚所育水稻的产量,可以分析得出,相较于标准大棚和传统小棚,超级大棚是较好的育秧方式且有利于水稻产量的提高,超级大棚的推广应用对于寒地水稻产量的提高具有重要的意义。

3 讨论

1)地处北半球的高寒地区,温度条件是制约水稻面积扩张及水稻产量高低的重要因素。本研究发现在同等条件下,不同育秧棚式对于水稻的育秧期、秧苗素质、水稻产量及其构成要素具有直接影响,因此提升水稻产量应针对不同类型育秧棚式特点完善温度控制技术。

2)黑龙江省广大农村地区其育秧方式仍以传统小棚为主,建议在实际生产中,对集中连片的水田种植区推广大棚甚至超级大棚育秧技术,以便进一步提高区域内水稻产量。同时,对于农村地区较为分散的水稻种植区可以进行棚式改建,将传统小棚进一步改建为大棚棚式,进行集中统一育秧管理,优化育秧棚用地布局,提高土地集约利用率。

3)本研究中超级大棚和标准大棚内采用营养土育秧,传统小棚内土壤为草甸白浆土育秧,土壤的差异性会对秧苗生长及秧苗素质产生一定的影响。另外,外界温度条件和水稻品种等因素的影响需进一步的试验验证。

4 结论

1)在水稻育秧时节的上午温度升高和下午温度降低时,2 种大棚棚内温度较为稳定,而传统小棚的棚内温度则呈波动性变化。2 种大棚的上下午温差变化较小,最大温差不超过 8℃,而传统小棚内的温差变化较为剧烈,最大温差达 11℃左右。2 种大棚增温及控温效果明显优于传统小棚。

2)不同育秧棚式棚内温度和光照差异对秧苗素质高低有直接的影响,综合对比 3 种棚式所育秧苗株高、根长、根数、根重和茎基宽等数据,超级大棚所育秧苗素质最优,标准大棚次之,传统小棚所育秧苗

素质最低。在弱苗率测算中,超级大棚弱苗率最低为 8%,传统小棚最高为 24%。

3)对比 3 种育秧棚所育秧苗的生育期,2 种大棚所育秧苗的生育进程基本相同,但传统小棚由于插秧期较 2 种大棚推迟 7 d,导致后期生育进程推迟 1 周。与传统小棚育秧相比,大棚所育秧苗的生育期缩短 1 周左右的时间,这一优势可以有效弥补寒地水田区生育期短的不足。

4)分析对比有效穗数、每穗全粒数、实粒数和结实率等产量构成要素,超级大棚所培育水稻的有效穗数较传统小棚高出 15.83%;超级大棚秧苗全粒数分别较标准大棚和传统小棚高出 1.71%和 4.19%;超级大棚育秧水稻的实粒数分别较标准大棚和传统小棚高出 0.06 和 2.16 粒/穗;与传统小棚相比,标准大棚育秧下水稻结实率提高 0.18%。

5)后期生长过程中受各种因素影响,3 种棚式育秧的水稻实际产量均低于理论产量,但超级大棚的实际产量仍明显高于标准大棚和传统小棚,分别高出 3.21%和 7.75%。

致谢

感谢东北农业大学农学院顾万荣副研究员对本研究及论文写作的指导,感谢黑龙江省七星农场农业技术人员对本研究所提供的技术支持与帮助。

参考文献 References

- [1] 陈惠哲,朱德峰,杨仕华,张玉屏,林贤青. 我国南方稻区水稻产量差异及增产潜力[J]. 中国稻米, 2004(4): 9-10
Chen H Z, Zhu D F, Yang S H, Zhang Y P, Lin X Q. Rice yield difference and yield increase potential in southern China [J]. *China Rice*, 2004(4): 9-10 (in Chinese)
- [2] 刘秋员,宋晓华,段斌,何世界,李慧龙,王庆志,宋世枝. 不同育秧方式对水稻秧苗素质及产量性状的影响[J]. 中国稻米, 2017, 23(4): 144-146
Liu Q Y, Song X H, Duan B, He S J, Li H L, Wang Q Z, Song S Z. Effects of different breeding methods on rice seedling quality and yield traits[J]. *China Rice*, 2017, 23(4): 144-146 (in Chinese)
- [3] 吴涛,黄璜,谷婕,王忍,伍佳. 稻鸭复合种养模式对水稻产量及其构成因素的影响[J]. 作物研究, 2018, 32(4): 286-289
Wu T, Huang H, Gu J, Wang R, Wu J. Effects of rice-duck compound breeding model on rice yield and its component factors[J]. *Crop Research*, 2018, 32(4): 286-289 (in Chinese)
- [4] 杜国明,春香,于凤荣,张燕,赵雅倩,关桐桐. 东北地区水

- 田分布格局的时空变化分析[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(4): 728-736
- Du G M, Chun X, Yu F R, Zhang Y, Zhao Y Q, Guang T T. Spatial-temporal patterns of paddy field change in Northeast China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(4): 728-736 (in Chinese)
- [5] 杜国明, 李昀, 于凤荣, 张树文, 杨凤海. 基于遥感的2000—2009年三江平原北部耕地变化特征分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 225-229
- Du G M, Li Y, Yu F R, Zhang S W, Yang F H. Change characteristics analysis of farmland in Northern Sanjiang Plain in 2000—2009 based on remote [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(1): 225-229 (in Chinese)
- [6] 杜国明, 张志宇, 高君峰, 于凤荣, 冯悦, 春香. 寒地井灌水稻田晒水池用地空间布局研究:以七星农场为例[J]. 中国农村水利水电, 2017(10): 201-205, 212
- Du G M, Zhang Z Y, Gao J F, Yu F R, Feng Y, Chun X. Research on spatial distribution of sunning water pool area in irrigated paddy fields in cold region[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2017(10): 201-205, 212 (in Chinese)
- [7] 聂晓, 王毅勇, 刘兴土. 灌溉方式对寒地水稻生长和产量构成要素的影响[J]. 灌溉排水学报, 2013, 32(6): 34-37
- Nie X, Wang Y Y, Liu X T. Effects of irrigation modes on growth and yield structures of rice in cold area[J]. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2013, 32(6): 34-37 (in Chinese)
- [8] 张玮玮, 娄运生, 朱怀卫, 肇思迪, 石一凡. 夜间增温对水稻生长、生理特性及产量构成的影响[J]. 中国农业气象, 2017, 38(2): 88-95
- Zhang Y W, Lou Y S, Zhu H W, Zhao S D, Shi Y F. Impacts of night warming on rice growth, physiological properties and yield components[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2017, 38(2): 88-95 (in Chinese)
- [9] 禹盛苗, 朱练峰, 欧阳由男, 许佳莹, 张均华, 许德海, 金千瑜. 稻鸭种养模式对稻田土壤理化性状、肥力因素及水稻产量的影响[J]. 土壤通报, 2014, 45(1): 151-156
- Yu S M, Zhu L F, Ouyang Y N, Xu J Y, Zhang J H, Xu D H, Jin Q Y. Influence of rice-duck farming system on soil physical properties, fertility factors and yield in paddy fields [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2014, 45(1): 151-156 (in Chinese)
- [10] 钱永德, 刘丽华, 李红宇, 郑桂萍, 刘崇文. 寒地保护性耕作栽培技术对水稻产量及产量构成的影响[J]. 作物杂志, 2010(2): 41-44
- Qian Y D, Liu L H, Li H Y, Zheng G P, Liu C W. Effects of cold terra protective tillage and cultivation technology on rice yield and yield components[J]. *Crops*, 2010(2): 41-44 (in Chinese)
- [11] 张兆健, 江剑波. 免耕抛秧条件下不同氮肥用量对水稻生长和产量的影响[J]. 广西农业生物科学, 2008(S1): 40-43
- Zhang Z J, Jiang J B. Effect of different nitrogen fertilization level on rice growth and yield under no-tillage and scattered-planting farming[J]. *Journal of Guangxi Agricultural and Biological Science*, 2008(S1): 40-43 (in Chinese)
- [12] 赵海红. 不同插秧密度对水稻产量和产量构成因素的影响[J]. 农学学报, 2015, 5(4): 1-4
- Zhao H H. The impact of the different densities of transplants on rice yield and yield components[J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(4): 1-4 (in Chinese)
- [13] 刘一江, 廖雪萍, 李耀先, 黄梅丽, 李玉红, 覃峥嵘. 增温对水稻生长影响研究进展[J]. 气象研究与应用, 2017, 38(4): 54-57
- Liu Y J, Liao X P, Li Y X, Huang M L, Li Y H, Qin Z H. Research progress on the warming effect on rice growth[J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2017, 38(4): 54-57 (in Chinese)
- [14] 刘钊. 寒地水田区育秧棚用地空间配置研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2018
- Liu Z. Research on the space allocation of cultivate seedling shed land in the field of cold water field[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2018 (in Chinese)
- [15] 于文颖, 纪瑞鹏, 冯锐, 武晋雯, 张玉书, 王鹏, 王婷. 基于分期播种的水稻生长动态及产量对热量条件的响应[J]. 中国农学通报, 2015, 31(24): 6-13
- Yu W Y, Ji R P, Feng R, Wu J W, Zhang Y S, Wang P, Wang T. Response of rice growth dynamic and yield to heat condition based on sowing date [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(24): 6-13 (in Chinese)
- [16] 孟令君, 李彦利, 韩康顺, 贾玉敏, 时羽, 邵玺文. 不同大小棚旱育苗方式对棚温及秧苗素质的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(20): 233-238
- Meng L J, Li Y L, Han K S, Jia Y M, Shi Y, Shao X W. Effect of different sizes of shed dry nursery on greenhouse temperature and seedling quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(20): 233-238 (in Chinese)
- [17] 何文洪, 陈惠哲, 朱德峰, 徐一成, 林贤青, 张玉屏. 不同播种量对水稻机插秧苗素质及产量的影响[J]. 中国稻米, 2008(3): 60-62
- He W H, Chen H Z, Zhu D F, Xu Y C, Lin X Q, Zhang Y P. Effects of different sowing amounts on the quality and yield of rice seedlings[J]. *China Rice*, 2008(3): 60-62 (in Chinese)
- [18] 史鸿志, 朱德峰, 张玉屏, 向镜, 张义凯, 朱从桦, 武辉, 陈惠哲. 生物降解秧盘及播种量对机插水稻秧苗素质及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 27-34
- Shi H Z, Zhu D F, Zhang Y P, Xiang J, Zhang Y K, Zhu C H, Wu H, Chen H Z. Effects of biodegradable seedling tray and sowing rate on seedling quality and yield of mechanical transplanting rice[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(24): 27-34 (in Chinese)