

石晓旭,石 吕,薛亚光,等. 不同麦稻轮作模式产量、资源利用及经济效益分析[J/OL]. 大麦与谷类科学, 2024,41(1):57-67.  
https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2024.01.009.

## 不同麦稻轮作模式产量、资源利用及经济效益分析

石晓旭<sup>1</sup>,石 吕<sup>1</sup>,薛亚光<sup>1</sup>,陈永建<sup>2</sup>,刘旭杰<sup>1</sup>,单海勇<sup>1</sup>,张 晋<sup>1</sup>,韩 笑<sup>1</sup>,严旖旎<sup>1</sup>,刘海翠<sup>1</sup>,  
李 赢<sup>1</sup>,杨美英<sup>1</sup>,刘 建<sup>1\*</sup>

(1.江苏沿江地区农业科学研究所/南通市循环农业重点实验室,江苏南通 226012;

2.如皋市白蒲镇综合服务中心,江苏如皋 226500)

**摘要:**基于南通沿江地区生态条件,以苏裸麦 2 号、扬麦 29 和南粳 46、南粳 5055 和南粳 9108 为供试材料,设置苏裸麦 2 号-移栽南粳 46、苏裸麦 2 号-直播南粳 5055、扬麦 29-移栽南粳 5055 和扬麦 29-直播南粳 9108 这 4 种麦稻轮作组合处理,通过对其生育特性、产量、稻米食味品质、温光水资源分配利用、经济收益以及资源利用与产量之间的相关性分析,比较元麦-稻模式与小麦-稻模式在南通沿江地区的应用前景。结果表明,苏裸麦 2 号生育期短于扬麦 29,其产量与资源分配也低于扬麦 29,扬麦 29-移栽南粳 5055 周年产量稍高,与苏裸麦 2 号-移栽南粳 46 差异无统计学意义,但苏裸麦 2 号-移栽南粳 46 模式元麦后茬水稻的产量和资源分配高于其他模式,其产量 8 548.8 kg/hm<sup>2</sup>,有效积温 2 616.8℃,太阳辐射量 3 215.4 MJ/m<sup>2</sup>,日照时数 1 342.10 h,降雨量 632.7 mm;其稻米食味品质好于其他模式,外观 8.40,口感 8.43,综合评分 76.55;周年经济收益比其他轮作模式分别高 3 465.36、11 847.32、11 867.60 元/hm<sup>2</sup>。麦季产量、水稻季产量与光温水资源有极显著正相关关系,麦稻周年产量与太阳辐射量、日照时数有极显著负相关关系,与有效积温呈现显著负相关关系。苏裸麦 2 号-移栽南粳 46 模式实现了较佳经济效益,适宜在此地区适度规模化推广生产。

**关键词:**元麦;小麦;水稻;产量;经济收益

**中图分类号:**S511;S512

**文献标志码:**B

**文章编号:**1673-6486-20230222

在全球气候变暖的大背景下,极端温度和降水的频率和强度都显著增加,自然灾害发生的频率升高<sup>[1-3]</sup>,严重影响我国农业生产<sup>[4]</sup>。气候变化导致光照、温度、降水量等气象因子的变化,对作物生长发育产生无法逆转的影响,且年际间极不稳定<sup>[5-6]</sup>。长江中下游地区是我国稻麦轮作区,具有优越的温光水资源,约有 1 300 万 hm<sup>2</sup> 的稻麦轮作种植面积<sup>[7]</sup>。随着气候的变化,稻麦两熟种植模式季节内及周年光、温、水等资源配置发生相应变化<sup>[8]</sup>,种植户为增加水稻的经济效益,将收获时间推迟,甚至推迟至 11 月底,水稻收获后再遇到连阴雨天气,稻田土壤含水量过饱和,不适宜后茬小麦播种,只能推迟播

期<sup>[9]</sup>。而播期太晚和土壤太烂,会导致小麦播种质量差,常发生缺苗、弱苗、冻死苗的情况<sup>[10]</sup>,严重影响小麦群体质量的构建,造成小麦产量偏低,制约了沿江地区稻麦两熟种植模式周年产量和效益的提高<sup>[11]</sup>。

元麦是江苏省特色杂粮作物<sup>[12]</sup>,比小麦耐迟播<sup>[13]</sup>,可代替小麦作为水稻后茬作物种植。元麦,又称青稞、裸大麦、米麦,是一种内外稃不附着的裸粒大麦<sup>[14]</sup>,含有较高含量的膳食纤维<sup>[15]</sup>、 $\beta$ -葡聚糖<sup>[16]</sup>和  $\gamma$ -氨基丁酸<sup>[17]</sup>,能够改善人体营养状况,是一种优质杂粮<sup>[18-19]</sup>,营养价值和经济价值都比小麦高。20 世纪 90 年代之前,在长江中下游及沿海地区有集中种植,种植面积约 0.52 万 hm<sup>2</sup>,其中江苏省种植面积最大,主要分布在江苏沿江地区<sup>[20]</sup>。前期研究发现元麦作为水稻后茬作物时,能够解决稻麦茬口衔接问题<sup>[13]</sup>,但对元麦-稻周年产量、效益及光温水资源利用的研究较少。本研究于 2021—2022 年在江苏如皋地区麦稻轮作模式下,进行了元麦-稻和传统麦稻的比较试验,分析光、温、水等气象资源在季节内及周年的分配,以及对麦、稻产量、稻米食味品质 and 经济效益的影响,为元麦-稻模式的推广提供数据支撑

收稿日期:2023-05-30;修回日期:2024-01-02。

基金项目:南通市科技项目(MS22021037、MS22022095、JC2020163);江苏省科技项目(BE2020388);江苏沿江地区农业科学研究所青年基金[YJ(2021)006];南通市循环农业重点实验室(CP12015003)。

作者简介:石晓旭(1990—),女,硕士,助理研究员,主要从事耕作栽培研究。Email:416486328@qq.com。

\*通信作者:刘 建(1965—),男,硕士,研究员,主要从事耕作栽培研究。Email:nluij@sina.com。

和理论依据,为麦、稻轮作作物组合提供新思路。

## 1 材料与方方法

### 1.1 试验地概况

2021—2022年在江苏沿江地区农业科学研究所薛窑基地(120.87° E、32.01° N)进行试验。该地位于长江中下游地区,地势低平,属于亚热带季风气候,气候温和,无霜期长,夏季高温多雨,冬季温和少雨,雨热同期。试验地土壤肥力较高,耕作层(0~20 cm)土壤有机质含量(质量分数,下同)24.45 g/kg,全氮含量1.60 g/kg,速效磷含量24.99 mg/kg,速效钾含量91.67 mg/kg,pH值7.94。图1和图2为麦稻周年的气象条件。

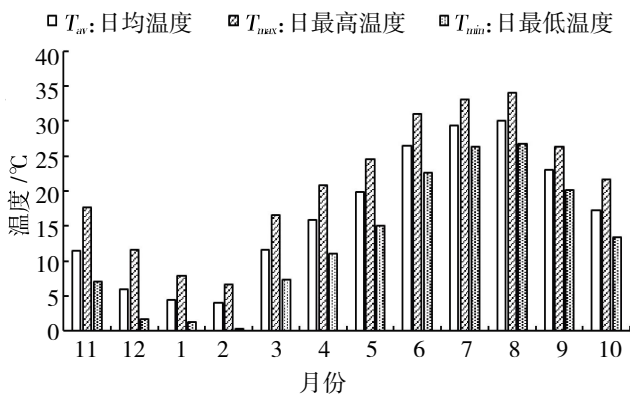


图1 周年日均温度( $T_m$ )、日最高温度( $T_{max}$ )、日最低温度( $T_{min}$ )

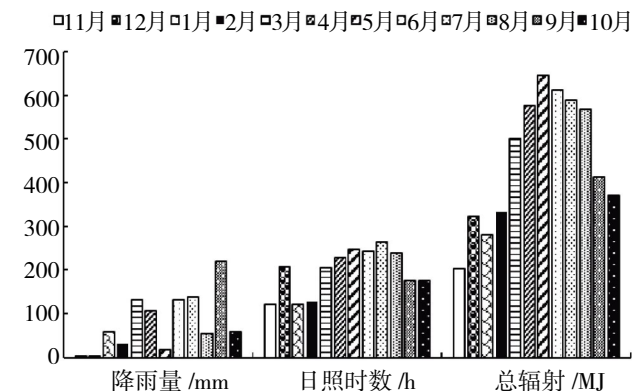


图2 周年月降雨量、月日照时数、月总辐射

### 1.2 试验设计

元麦供试品种苏裸麦2号,于2021年11月13日播种,2022年5月12日成熟,播种量120 kg/hm<sup>2</sup>,小区面积60 m<sup>2</sup>,采用宽(30 cm)窄(15 cm)行种植模式,窄行(苗带)人工模拟机械条播2行元麦,宽行(空幅带)留茬免耕,并结合前茬水稻秸秆截断(8~12 cm)还田,秸秆还田量为6 t/hm<sup>2</sup>。整个生育期施纯

氮量180 kg/hm<sup>2</sup>,基肥、苗肥、拔节孕穗肥的质量比为5:3:2,基肥施用复合肥(N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O质量比为15:15:15)600 kg/hm<sup>2</sup>,3叶期施用尿素(N质量分数为46%,下同)117.45 kg/hm<sup>2</sup>,拔节孕穗肥施用尿素78.30 kg/hm<sup>2</sup>。配合使用磷钾肥,N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的质量比为1:0.5:0.5,磷、钾肥全作基肥。

小麦供试品种扬麦29。于2021年11月13日播种,2022年5月27日成熟,播种量225 kg/hm<sup>2</sup>,小区面积60 m<sup>2</sup>,采用均匀条播,行距22.5 cm,水稻秸秆还田量为6 t/hm<sup>2</sup>。整个生育期施纯氮量240 kg/hm<sup>2</sup>,基肥、苗肥、拔节孕穗肥的质量比为5:1:4,基肥施用复合肥(K<sub>2</sub>O、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、N质量比为15:15:15)801.00 kg/hm<sup>2</sup>,3叶期施用尿素104.40 kg/hm<sup>2</sup>,拔节孕穗肥施用尿素156.45 kg/hm<sup>2</sup>。配合使用磷、钾肥,N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O的质量比为1:0.5:0.5,磷、钾肥全作基肥一次性施用。

水稻季供试品种为南粳46、南粳5055和南粳9108。根据品种特性和茬口安排,试验设置4个麦、稻周年组合:苏裸麦2号-移栽南粳46、苏裸麦2号-直播南粳5055、扬麦29-移栽南粳5055、扬麦29-直播南粳9108,每个处理重复3次,小区面积30 m<sup>2</sup>。试验均根据当地种植大户常用的生产模式和不同茬口时间进行设计。

苏裸麦2号-移栽南粳46:2022年4月26日育秧,5月28日移栽,10月22日成熟。移栽行、株距分别为25.0、13.5 cm,3本栽插。

苏裸麦2号-直播南粳5055:2022年5月28日播种,10月27日成熟。播种量75 kg/hm<sup>2</sup>。宽窄行(30 cm+15 cm)洁区播种(播种方式同苏裸麦2号)。

扬麦29-移栽南粳5055:2022年5月10日育秧,6月12日移栽,10月22日成熟。移栽行、株距分别为25.0、13.5 cm,3本栽插。

扬麦29-直播南粳9108:2022年6月12日播种,10月27日成熟。播种量75 kg/hm<sup>2</sup>。麦秸旋耕还田等行距22.5 cm条播。

全生育期施纯氮330 kg/hm<sup>2</sup>,基肥、分蘖肥(分蘖前期、分蘖后期质量比为1:1)、穗肥(促花肥、保花肥质量比为1:1)的质量比为4:2:4;基施P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>132 kg/hm<sup>2</sup>;施钾肥(K<sub>2</sub>O)198 kg/hm<sup>2</sup>,基肥、穗肥的质量比为2:1。病虫害防治按当地常规大田生产标准实施。

### 1.3 测定项目及方法

1.3.1 生育期和产量。观测并记载供试苏裸麦2号、扬麦29和水稻关键生育期。麦季:成熟期各小区选

取3个点,每个点收割3 m<sup>2</sup>,测定籽粒含水量,计算实际产量。水稻季:水稻成熟期各小区全部收割,测定籽粒含水量,计算实际产量。

**1.3.2 稻米食味品质。**外观、口感、综合评分测定参照日本佐竹 SATAKE STA1B 米饭食味计近红外线分析法<sup>[21]</sup>。

**1.3.3 气象数据收集。**气象数据来源于试验基地农田气象站,主要包括气温、日照时数、降雨量、光辐射量。

**1.3.4 季节间资源分配率与资源分配比例。**气象资源计算过程中,元麦、小麦、水稻分别从播种开始累加到收获结束,周年为麦子播种开始累加水稻收获结束(减去重复计算部分)。两熟制季节间的资源分配率和资源分配比例指标的相应计算公式如下:

$$\text{积温分配率} = \text{季节内积温值} / \text{周年积温总量}$$

$$\text{辐射分配率} = \text{季节内辐射量} / \text{周年辐射总量}$$

$$\text{光照时数分配率} = \text{季节内光照时数} / \text{周年光照总时数}$$

$$\text{降雨量分配率} = \text{季节内降雨量} / \text{周年降雨量}$$

$$\text{积温比值} = \text{第1季积温量} / \text{第2季积温量}$$

$$\text{辐射比值} = \text{第1季辐射量} / \text{第2季辐射量}$$

$$\text{光照时数比值} = \text{第1季光照时数} / \text{第2季光照时数}$$

$$\text{降雨量比值} = \text{第1季降雨量} / \text{第2季降雨量}$$

积温计算过程中,麦季下限温度取值为0℃,水稻季下限温度取值为10℃。

**1.3.5 周年收益计算。**元麦总产值(元/hm<sup>2</sup>)=元麦产量(kg/hm<sup>2</sup>)×元麦价格(元/kg);小麦总产值(元/hm<sup>2</sup>)=小麦产量(kg/hm<sup>2</sup>)×小麦价格(元/kg);水稻季总产值(元/hm<sup>2</sup>)=水稻产量(kg/hm<sup>2</sup>)×水稻价格(元/kg)。

元麦总投入(元/hm<sup>2</sup>)=购种成本(元/hm<sup>2</sup>)+施肥成本(元/hm<sup>2</sup>)+田间管理成本(元/hm<sup>2</sup>);小麦总投入(元/hm<sup>2</sup>)=购种成本(元/hm<sup>2</sup>)+施肥成本(元/hm<sup>2</sup>)+田间管理成本(元/hm<sup>2</sup>);水稻总投入(元/hm<sup>2</sup>)=购种成本(元/hm<sup>2</sup>)+施肥成本(元/hm<sup>2</sup>)+田间管理成本(元/hm<sup>2</sup>)。

元麦季纯收益(元/hm<sup>2</sup>)=元麦季总产值(元/hm<sup>2</sup>)-元麦季总投入(元/hm<sup>2</sup>);小麦季纯收益(元/hm<sup>2</sup>)=小麦季总产值(元/hm<sup>2</sup>)-小麦季总投入(元/hm<sup>2</sup>);水稻季纯收益(元/hm<sup>2</sup>)=水稻季总产值(元/hm<sup>2</sup>)-水稻季总投入(元/hm<sup>2</sup>)。

小麦季产投比=小麦季总产值(元/hm<sup>2</sup>)/总投入(元/hm<sup>2</sup>);水稻季产投比=水稻季总产值(元/hm<sup>2</sup>)/总投入(元/hm<sup>2</sup>);年度总收益(元/hm<sup>2</sup>)=麦季纯收益(元/hm<sup>2</sup>)+水稻季纯收益(元/hm<sup>2</sup>)。

#### 1.4 数据处理与分析

利用 Excel 2016 和 DPS V9.01 软件处理和统计分析数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 元麦、小麦、水稻的生育进程

由表1可知,元麦与小麦生育期有差异,元麦生育期短于小麦。苏裸麦2号与扬麦29同为11月13日播种,苏裸麦2号于5月12日成熟,扬麦29于5月27日成熟,苏裸麦2号生育期比扬麦29短15 d。相对于扬麦29,苏裸麦2号提前2 d进入出苗期和分蘖期,提前6 d进入拔节期,提前13 d进入抽穗期和开花期,提前15 d进入成熟期,营养生长期阶段时间短,花后灌浆阶段时间少2 d。

表1 元麦和小麦的主要生育时期

品种	播种期 (月-日)	出苗期 (月-日)	分蘖期 (月-日)	拔节期 (月-日)	抽穗期 (月-日)	开花期 (月-日)	成熟期 (月-日)	全生育期/ d
苏裸麦2号	11-13	11-22	12-20	03-03	03-25	04-02	05-12	180
扬麦29	11-13	11-24	12-22	03-09	04-07	04-15	05-27	195

由表2可知,不同处理水稻生育期差异较大,移栽水稻的生育期长于直播水稻。4个处理生育期长短表现为移栽南粳46>移栽南粳5055>直播南粳5055>直播南粳9108,移栽南粳46生育期最长,为180 d,直播南粳9108最短,为139 d。移栽南

粳46、移栽南粳5055、直播南粳5055和直播南粳9108 4个处理花前生长阶段时长分别为123、108、100、85 d,花后灌浆阶段时长分别为56、52、51、54 d,移栽南粳46处理的花前生长阶段与花后灌浆阶段时长均为最长,直播南粳9108的花前生长阶段时

长最短,但花后灌浆阶段时长仅次于移栽南粳46处理,长于移栽南粳5055和直播南粳5055处理。

2.2 不同处理对周年产量的影响

麦季小麦产量明显高于元麦。因小麦生育期比元麦长,苏裸麦2号日产量与扬麦29差异无统计学意义,苏裸麦2号产量占周年产量比例低于扬麦29,苏裸麦2号、扬麦29与移栽水稻的轮作组合中,麦季产量占周年产量比低于苏裸麦2号、扬麦29与直播水稻的轮作组合。水稻季移栽稻产量高于直播稻,移栽南粳46的产量显著高于直播南粳5055和直播南粳9108( $P < 0.05$ ),与移栽南粳5055产量差异无统计学意义;不同处理产量表现为移栽南粳46( $8\ 548.80\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) $\geq$ 移栽南粳5055( $8\ 141.70\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) $\geq$ 直播南粳5055( $7\ 905.60\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ) $\geq$ 直播南粳9108( $7\ 566.60\ \text{kg}/\text{hm}^2$ );因直播南粳9108生育期最短,其日产量表现最高,为 $3.09\ \text{kg}/\text{hm}^2$ ,与移栽南粳5055、

移栽南粳46日产量差异具统计学意义( $P < 0.05$ ),苏裸麦2号与水稻轮作组合的稻季产量占周年产量比例高于扬麦29与水稻的轮作组合。移栽稻的轮作组合周年产量显著高于直播稻轮作组合,苏裸麦2号-移栽南粳46的周年产量与扬麦29-移栽南粳5055差异无统计学意义,苏裸麦2号-直播南粳5055的周年产量与扬麦29-直播南粳9108差异无统计学意义。苏裸麦2号-移栽南粳46的周年日产量显著高于苏裸麦2号-直播南粳5055( $P < 0.05$ ),与扬麦29-移栽南粳5055、扬麦29-直播南粳9108差异无统计学意义。不同处理2季产量表现为苏裸麦2号-移栽南粳46( $0.93$ ) $<$ 苏裸麦2号-直播南粳5055( $1.01$ ) $<$ 与扬麦29-移栽南粳5055( $1.04$ ) $<$ 扬麦29-直播南粳9108( $1.12$ )(表3)。

表2 水稻的主要生育时期

处理	播种期 (月-日)	移栽期 (月-日)	出苗期 (月-日)	分蘖期 (月-日)	拔节期 (月-日)	开花期 (月-日)	成熟期 (月-日)	全生育期/ d
移栽南粳46	04-26	05-28	—	06-20	07-29	08-27	10-22	180
移栽南粳5055	05-10	06-12	—	07-07	08-10	08-27	10-18	162
直播南粳5055	05-28	—	06-20	07-07	08-10	09-05	10-25	151
直播南粳9108	06-12	—	07-02	07-14	08-10	09-05	10-28	139

表3 不同处理的周年产量

麦稻轮作组合	麦季			水稻季			周年		
	产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	日产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	占周年 产量比	产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	日产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	占周年 产量比	产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	日产量/ ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )	2季比
苏裸麦2号- 移栽南粳46	7 990.05 b	2.93 a	0.48	8 548.80 a	2.81 c	0.52	16 538.85 a	3.21 a	0.93
苏裸麦2号- 直播南粳5055	7 990.05 b	2.93 a	0.50	7 905.60 bc	3.01 ab	0.50	15 895.65 b	3.12 b	1.01
扬麦29- 移栽南粳5055	8 468.40 a	2.90 a	0.51	8 141.70 ab	2.92 bc	0.49	16 608.75 a	3.18 ab	1.04
扬麦29- 直播南粳9108	8 468.40 a	2.90 a	0.53	7 566.60 c	3.09 a	0.47	16 033.65 b	3.16 ab	1.12

注:同列数值后不同小写字母表示差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。表4同。麦季:占周年产量比=元麦(小麦)产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )/周年产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。水稻季:占周年产量比=水稻产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )/周年产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。2季比=麦季产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )/水稻季产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。表5至表8同。

2.3 不同处理对稻米食味品质的影响

由表4可知,不同处理的水稻籽粒食味值差异具统计学意义( $P < 0.05$ ,下同),表现为移栽南粳

46 $\geq$ 直播南粳9108 $\geq$ 移栽南粳5055 $\geq$ 直播南粳5055。移栽南粳46的外观值最高,与移栽南粳5055、直播南粳5055差异有统计学意义,与直播南

粳 9108 差异无统计学意义;直播南粳 9108 外观值与直播南粳 5055 差异有统计学意义,与移栽南粳 5055 无统计学意义;移栽南粳 5055 外观值与直播南粳 5055 差异无统计学意义。移栽南粳 46 的口感值最高,与移栽南粳 5055、直播南粳 5055 差异有统计学意义,与直播南粳 9108 差异无统计学意义;直播南粳 9108 口感值与移栽南粳 5055、直播南粳 5055 差异无统计学意义;移栽南粳 46 籽粒综合评分最高,与移栽南粳 5055、直播南粳 5055 差异有统计学意义,与直播南粳 9108 差异无统计学意义;移栽南粳 5055 与直播南粳 5055 的综合评分差异无统计学意义。

2.4 不同处理对周年温光水资源分配的影响

2.4.1 不同处理对麦季、水稻季和周年积温分配的影响。由表 5 可知,不同麦稻轮作组合麦季、水稻季和周年累积有效积温相差较大。麦季苏裸麦 2 号生

育期短于扬麦 29,且全生育期有效积温低于扬麦 29,相差 307.00 °C·d,全生育期有效积温分配率低于扬麦 29。水稻季不同处理有效积温和分配率随着水稻生育期的缩短而降低,移栽稻的生育期比直播稻长;移栽稻全生育期有效积温和分配率高于直播稻,不同处理水稻季全生育期有效积温和分配率均表现为苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46 > 扬麦 29 - 移栽南粳 5055 > 苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055 > 扬麦 29 - 直播南粳 9108。小麦轮作组合周年有效积温和有效积温 2 季比高于元麦轮作组合,不同处理周年有效积温表现为扬麦 29 - 移栽南粳 5055(4 410.70 °C·d) > 扬麦 29 - 直播南粳 9108 (4 383.70 °C·d) > 苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46(4 264.80 °C·d),移栽稻的轮作组合有效积温 2 季比低于直播稻轮作组合。

表 4 稻米食味品质

水稻处理	外观	口感	综合评分
移栽南粳 46	8.40 a	8.43 a	76.55 a
移栽南粳 5055	7.68 bc	7.67 b	71.60 b
直播南粳 5055	7.50 c	7.63 b	70.68 b
直播南粳 9108	8.27 ab	8.18 ab	76.38 a
F 值	6.08*	5.32*	6.04*

注: \*、\*\* 分别表示差异有统计学意义(P < 0.05)、高度统计学意义(P < 0.01)。表 9 同。

表 5 不同处理对周年有效积温资源分配的影响

麦稻轮作组合	麦季		水稻季		周年	
	有效积温 / (°C·d)	分配率	有效积温 / (°C·d)	分配率	有效积温 / (°C·d)	2 季比
苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46	1 703.40	0.40	2 616.80	0.61	4 264.80	0.65
苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055	1 703.40	0.39	2 353.20	0.54	4 363.60	0.72
扬麦 29 - 移栽南粳 5055	2 010.40	0.46	2 490.20	0.56	4 410.70	0.81
扬麦 29 - 直播南粳 9108	2 010.40	0.46	2 165.40	0.49	4 383.70	0.93

2.4.2 不同处理对麦季、水稻季和周年太阳辐射资源分配的影响。不同麦稻轮作组合麦季、水稻季和周年太阳辐射量相差较大。麦季苏裸麦 2 号生育期太阳辐射量低于扬麦 29,相差 317.20 MJ/m<sup>2</sup>,占周年太阳辐射量的比例也低于扬麦 29,与扬麦 29 - 移栽南粳 5055 相差 0.07,与扬麦 29 - 直播南粳 9108 相差 0.06。水稻季不同处理太阳辐射量和分配率随着水稻生育期的缩短而降低,移栽稻的生育期比直

播稻长,移栽稻全生育期太阳辐射量和分配率高于直播稻,不同处理水稻季全生育期太阳辐射量和分配率均表现为苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46 > 扬麦 29 - 移栽南粳 5055 > 苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055 > 扬麦 29 - 直播南粳 9108。苏裸麦 2 号与直播稻的轮作组合周年太阳辐射量 2 季比高于苏裸麦 2 号与移栽稻轮作组合,扬麦 29 与直播稻的轮作组合周年太阳辐射量 2 季比高于扬麦 29 与移栽稻轮

作组合。不同处理周年太阳辐射量表现为扬麦 29 – 直播南粳 9108(5 412.70 MJ/m<sup>2</sup>) > 苏裸麦 2 号 – 直播南粳 5055(5 388.20 MJ/m<sup>2</sup>) > 苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46(5 340.90 MJ/m<sup>2</sup>) > 扬麦 29 – 移栽南粳 5055 (5 283.70 MJ/m<sup>2</sup>); 扬麦 29 轮作组合麦稻辐射量

2 季比高于苏裸麦 2 号轮作组合, 不同处理麦稻辐射量 2 季比表现为扬麦 29 – 直播南粳 9108(1.21) > 扬麦 29 – 移栽南粳 5055 (0.99) > 苏裸麦 2 号 – 直播南粳 5055 (0.96) > 苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46(0.77)(表 6)。

表 6 不同处理对周年太阳辐射资源分配的影响

麦稻轮作组合	麦季		水稻季		周年	
	辐射量/(MJ/m <sup>2</sup> )	分配率	辐射量/(MJ/m <sup>2</sup> )	分配率	辐射量/(MJ/m <sup>2</sup> )	2 季比
苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46	2 481.90	0.46	3 215.40	0.60	5 340.90	0.77
苏裸麦 2 号 – 直播南粳 5055	2 481.90	0.46	2 589.10	0.48	5 388.20	0.96
扬麦 29 – 移栽南粳 5055	2 799.10	0.53	2 841.00	0.54	5 283.70	0.99
扬麦 29 – 直播南粳 9108	2 799.10	0.52	2 309.40	0.43	5 412.70	1.21

**2.4.3** 不同处理对麦季、水稻季和周年光照资源分配的影响。由表 7 可知, 麦季苏裸麦 2 号生育期日照时数少于扬麦 29, 相差 120.90 h, 占周年日照时数的比例也低于扬麦 29, 与扬麦 29 – 移栽南粳 5055 相差 0.06, 与扬麦 29 – 直播南粳 9108 相差 0.05。水稻季不同处理生育期日照时数和分配率随着水稻生育期的缩短而降低, 移栽稻的生育期比直播稻长, 移栽稻生育期日照时数和分配率高于直播稻, 不同处理水稻季生育期日照时数和分配率均表现为元麦 – 移栽南粳 46 > 小麦 – 移栽南粳 5055 > 元麦 – 直播南粳 5055 > 小麦 – 直播南粳 9108。苏裸麦 2 号与直播稻的轮作组合周年日照时数 2 季比高于苏裸麦 2 号与移栽稻轮作组合, 扬麦 29 与直播稻的轮作组合周年日照时数 2 季比高于扬麦 29 与移栽稻轮作组合。不同处理周年日照时数表现为小麦 – 直播南粳 9108(2 350.80 h) > 元麦 – 直播南粳 5055 (2 340.70 h) > 元麦 – 移栽南粳 46(2 316.10 h) > 小麦 – 移栽南粳 5055(2 289.80 h); 小麦轮作组合麦稻日照时数 2 季比高于元麦轮作

组合, 不同处理麦稻日照时数 2 季比表现为小麦 – 直播南粳 9108 (1.24) > 小麦 – 移栽南粳 5055 (1.04) > 元麦 – 直播南粳 5055(1.01) > 元麦 – 移栽南粳 46(0.83)。

**2.4.4** 不同处理对麦季、水稻季和周年降雨资源分配的影响。由表 8 可知, 麦季苏裸麦 2 号生育期降雨量少于扬麦 29, 但相差不大, 占周年日照时数的比例与扬麦 29 相同。水稻季不同处理生育期降雨量和分配率随着水稻生育期的缩短而降低, 移栽稻的生育期比直播稻长, 移栽稻生育期降雨量和分配率高于直播稻, 不同处理水稻季生育期降雨量和分配率均表现为苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46 > 扬麦 29 – 移栽南粳 5055 > 苏裸麦 2 号 – 直播南粳 5055 > 扬麦 29 – 直播南粳 9108。直播稻的轮作组合麦稻降雨量 2 季比高于移栽稻轮作组合。不同处理麦稻季降雨量 2 季比表现为扬麦 29 – 直播南粳 9108(0.63) > 扬麦 29 – 直播南粳 5055(0.59) > 苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 5055 (0.57) > 苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46(0.55)。

表 7 不同处理对周年光照资源分配的影响

麦稻轮作组合	麦季		水稻季		周年	
	日照时数/h	分配率	日照时数/h	分配率	日照时数/h	2 季比
苏裸麦 2 号 – 移栽南粳 46	1 116.90	0.48	1 342.10	0.58	2 316.10	0.83
苏裸麦 2 号 – 直播南粳 5055	1 116.90	0.48	1 102.90	0.47	2 340.70	1.01
扬麦 29 – 移栽南粳 5055	1 237.80	0.54	1 187.00	0.52	2 289.80	1.04
扬麦 29 – 直播南粳 9108	1 237.80	0.53	999.90	0.43	2 350.80	1.24

2.5 麦稻周年产量与气象因子的相关性

由表 9 可知,苏裸麦 2 号、扬麦 29 产量与麦季全生育期有效积温、太阳辐射量、日照时数和降雨量呈极显著正相关关系,说明麦季增加温度、太阳辐射量、日照时数和降雨量等气象因子,能够提高苏裸麦 2 号和扬麦 29 产量;水稻产量与水稻季全生育期有效积温、太阳辐射量、日照时数和降雨量呈极显著正相关关系,说明水稻季温度越高、太阳辐射量越大、日照时数越长和降雨量越多,水稻产量越高;麦稻周年产量与有效积温呈显著负相关关系,与太阳辐射量、日照时数呈极显著负相关关系,与降雨量呈负相关关系,未达显著水平。

2.6 麦稻周年收益分析

由表 10 可知,麦季苏裸麦 2 号总产值高于扬麦 29 3 502.49 元 /hm<sup>2</sup>,总投入低 3 050.55 元 /hm<sup>2</sup>,纯收益高于扬麦 29 6 553.04 元 /hm<sup>2</sup>,产投比高于扬麦 290.70;水稻季移栽南粳 46 总产值比直播

南粳 5055、移栽南粳 5055、直播南粳 9108 分别高 6 075.36、5 414.28、7 024.56 元 /hm<sup>2</sup>;移栽稻的总投入高于直播稻,各处理表现为移栽南粳 46 > 移栽南粳 5055 > 直播南粳 9108 > 直播南粳 5055;水稻季移栽南粳 46 纯收益比直播南粳 5055、移栽南粳 5055、直播南粳 9108 分别高 3 465.36、5 294.28、5 314.56 元 /hm<sup>2</sup>;水稻季移栽南粳 46 产投比最高,为 1.45,直播南粳 5055 次之;苏裸麦 2 号轮作组合的产投比高于扬麦 29 轮作组合;各处理麦稻周年总收益表现为苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46 > 苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055 > 扬麦 29 - 移栽南粳 5055 > 扬麦 29 - 直播南粳 9108,苏裸麦 2 号轮作组合的周年总收益高于扬麦 29 轮作组合,苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46 周年总收益最高,比苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055、扬麦 29 - 移栽南粳 5055、扬麦 29 - 直播南粳 9108 分别高 3 465.36、11 847.32、11 867.60 元 /hm<sup>2</sup>。

表 8 不同处理对周年降雨资源分配的影响

麦稻轮作组合	麦季		水稻季		周年	
	降雨量 /mm	分配率	降雨量 /mm	分配率	降雨量 /mm	2 季比
苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46	349.10	0.37	632.70	0.67	946.40	0.55
苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055	349.10	0.37	595.60	0.63	946.40	0.59
扬麦 29 - 移栽南粳 5055	351.20	0.37	612.20	0.65	946.40	0.57
扬麦 29 - 直播南粳 9108	351.20	0.37	557.40	0.58	952.90	0.63

表 9 麦稻周年产量与气象因子的相关性

	麦季				水稻季				周年			
	有效积温	辐射量	日照时数	降雨量	有效积温	辐射量	日照时数	降雨量	有效积温	辐射量	日照时数	降雨量
产量	0.82**	0.82**	0.82**	0.82**	0.88**	0.89**	0.88**	0.87**	-0.58*	-0.73**	-0.75**	-0.36

表 10 麦稻周年收益分析表

麦稻轮作组合	麦季				水稻季				周年
	总产值 / (元 /hm <sup>2</sup> )	总投入 / (元 /hm <sup>2</sup> )	纯收益 / (元 /hm <sup>2</sup> )	产投比	总产值 / (元 /hm <sup>2</sup> )	总投入 / (元 /hm <sup>2</sup> )	纯收益 / (元 /hm <sup>2</sup> )	产投比	总收益 / (元 /hm <sup>2</sup> )
苏裸麦 2 号 - 移栽南粳 46	26 367.17	11 717.25	14 649.92	2.25	28 211.04	19 512.17	8 698.87	1.45	23 348.79
苏裸麦 2 号 - 直播南粳 5055	26 367.17	11 717.25	14 649.92	2.25	22 135.68	16 902.17	5 233.51	1.31	19 883.43
扬麦 29 - 移栽南粳 5055	22 864.68	14 767.80	8 096.88	1.55	22 796.76	19 392.17	3 404.59	1.18	11 501.47
扬麦 29 - 直播南粳 9108	22 864.68	14 767.80	8 096.88	1.55	21 186.48	17 802.17	3 384.31	1.19	11 481.19

注:元麦收购价格按 3.30 元 /kg 计,小麦收购价格按 2.70 元 /kg 计,南粳 46 收购价格按 3.30 元 /kg 计,南粳 5055 收购价格按 2.80 元 /kg 计,南粳 9108 收购价格按 2.80 元 /kg 计。元麦、小麦、南粳 46、南粳 5055、南粳 9108 种子价格分别为 5.00、4.40、20.00、12.00、8.00 元 /kg,复合肥[N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 均为 15%(质量分数,下同)],尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 12%)、钾肥(含 K<sub>2</sub>O 60%)价格分别为 3.80、3.00、1.00、3.50 元 /kg。

### 3 讨论

#### 3.1 不同轮作模式光温水资源利用特征

在农业系统中,充分高效利用光、温、水等气象资源是实现生态环境保护的必经途径,更是农业可持续发展的重要保障<sup>[22]</sup>。在全球气候变化和极端天气频发的环境下,气候带发生了北移,对我国农业的影响表现为春季物候提前,秋季物候推迟<sup>[23]</sup>。从1992年至2013年,安徽省不同地区的冬小麦-大豆模式冬小麦的播种期和抽穗期均表现出提前的趋势,播种期提前3.03 d,抽穗期提前1.11 d,而大豆播种期和开花期均表现为推迟趋势,播种期推迟3.06 d,开花期推迟0.86 d,全生育期延长<sup>[24]</sup>。长江中下游地区积温增加,陶玥玥等发现与苏香粳100-垄作摆栽油菜模式相比,南粳9108-直播油菜轮作模式的水稻季积温低了483℃,分配率低了1.80%,油菜季积温低了106℃,分配率高了1.80%,而辐射量及分配率均无显著差异,南粳9108的生育期比苏香粳100短23~27 d<sup>[25]</sup>。水稻季积温有差距,与本试验结果一致,生育期短的元麦有效积温小于小麦,直播南粳9108和直播南粳5055的有效积温低于移栽稻。前人发现江淮冬小麦-一季稻的小麦季降水分配率高于沿淮淮北冬小麦-大豆,低于沿江江南双季稻模式<sup>[24]</sup>。洞庭湖区油菜-早稻-晚稻三熟模式周年积温和光能分配率最高,2016—2017年比油菜-水稻两熟模式分别高13.0%、8.50%,分别达到102.50%、102.60%,均超过100%,积温和光能供应不足,限制了三熟模式生产;冬闲-水稻一熟模式生育期短,积温和光能分配率均低于50%,造成光温水资源的浪费<sup>[26]</sup>。本研究中水稻有效积温分配率均高于50%(除扬麦29-直播南粳9108处理),苏裸麦2号-移栽南粳46和扬麦29-移栽南粳5055处理的水稻太阳辐射分配率高于50%,有利于促进水稻对光能的利用。有研究发现,对于稻麦轮作模式,从南往北,麦季降水量逐渐减少,水稻季降水量增加,但差异不显著<sup>[27]</sup>。本研究中4个处理的季节间分配比均高于0.45,水稻季降雨量分配率最高为67%,麦季降雨量分配率为37%;江淮的冬小麦-水稻模式降雨量在麦季的分配率是30.27%,水稻季分配率是68%,分配比是0.45<sup>[24]</sup>。

#### 3.2 气象资源对作物产量的影响

气候资源是作物生产的关键环境因素,固定和转化足够多的太阳辐射量,积温和光能生产效率提

升,就能获得高的干物质积累和干物质产能,为高产赢得优势<sup>[28]</sup>。适期早播能增加相对迟熟品种对光温水资源的截获,提高生产效率。李勇等研究发现,冬闲-早稻-晚稻模式中早稻易遭遇倒春寒,影响种子发芽出苗和秧苗质量,晚稻生长后期易遭受寒露风,导致华而不实,结实率下降,灌浆充实不充分,千粒质量低,影响水稻产量<sup>[29]</sup>。水稻播种至抽穗期的降水分配指数与产量呈正相关,抽穗至成熟期降水分配指数与产量呈负相关。营养生长期降水量的增加有利于水稻产量的提高,而生殖生长期降水量减少,则有利于水稻产量的增加<sup>[30]</sup>。冬闲-直播中稻-熟模式中的水稻品种Y两优900产量达到8345 kg/hm<sup>2</sup>,油菜-直播中稻两熟模式中的水稻品种深两优5814产量达到8123 kg/hm<sup>2</sup>,两者相差222 kg/hm<sup>2</sup>,油菜-抛秧早稻-抛秧晚稻三熟模式中早稻品种中早39、晚稻品种H优518产量分别为6030、5623 kg/hm<sup>2</sup>,冬闲-抛秧早稻-抛秧晚稻两熟模式中早稻品种中早39、晚稻品种H优518产量分别为6336、6089 kg/hm<sup>2</sup>,油菜-早稻-晚稻三熟模式的水稻产量低于冬闲-早稻-晚稻两熟模式,共生期分别为42、25 d,共生期短有利于产量形成<sup>[26]</sup>。油菜-水稻两熟模式<sup>[25]</sup>、元麦-水稻两熟模式和冬小麦-水稻两熟模式<sup>[31]</sup>,冬季作物能够充分利用温、光、水资源,解决了1季有余、3季不足的矛盾。本研究中的元麦-水稻能避开生长前期低温、开花期高温的情况,保证了水稻的正常生长,为丰产高效打下了坚实的基础。

本研究显示,水稻播种至抽穗期的降水分配指数与产量呈正相关,抽穗至成熟期降水分配指数与产量呈负相关。营养生长期降水量的增加有利于水稻产量的提高,而生殖生长期降水量减少,则有利于水稻产量的增加<sup>[31]</sup>。本研究中元麦、小麦和水稻产量与有效积温、太阳辐射量、日照时数和降雨量均表现出极显著正相关关系,周年产量与有效积温、太阳辐射量、日照时数和降雨量呈现负相关关系,周年有效积温是从麦季播种到水稻收获的积温之和,低于麦季和水稻季的有效积温之和,太阳辐射量、日照时数和降雨量也是如此。阮新民的研究生中周年积温、辐射和降雨量也是低于稻麦两季的和,与本研究结果一致,但其发现水稻季产量与降水量和积温有显著负相关关系,水稻的高温热害和涝害会限制水稻产量的增加;小麦季产量与积温、降水量有负相关关系,但未达显著水平<sup>[32]</sup>,与本研究结果

不同。阮新民收集了近30年(1987—2017)安徽省江淮区域稻麦两熟制光、温、水资源分配数据,其中包括出现极端天气的年份和地区,数据范围广,与本文的气象数据差异较大,且在进一步分析产量与光、温、水资源的相关性时,仅仅进行了季节内的分析,如水稻季内水稻产量与光、温、水资源的相关性<sup>[32]</sup>。通过作物类型和气候变化调整耕作模式,使作物生育进程与季节内、季节间气候资源相协调,实现光、温、水资源的高效利用,提升区域周年粮食生产潜力。水稻品质的关键形成期在抽穗至成熟阶段,也是水稻的生殖生长阶段,此阶段的光、温、水资源的利用对稻米品质影响较大<sup>[33-34]</sup>。马义虎等认为,随播期推迟,播种至齐穗期缩短,而齐穗至成熟期延长,水稻生长的温度热量已足够,此阶段受日照时长影响较大,籼稻、粳稻的营养食味品质变优,籼稻则是先变劣再变优<sup>[35]</sup>。种浩天研究发现,通过减氮增密促进水稻分蘖增多,叶面积增大,减少水稻营养生长阶段冠层郁闭导致的温光资源的浪费,提高了积温利用率和太阳辐射利用率,也提高了稻米的外观品质与食味值<sup>[36]</sup>。本研究中南粳46的品质最高,外观品质、口感和综合评分分别高达8.40、8.43、76.55。

### 3.3 不同种植模式对周年经济效益的影响

冬小麦-夏玉米种植模式增加光温资源的利用,能够增加作物产值,提高周年效益。2019—2020年,与黄淮海地区传统冬小麦-夏玉米种植模式相比,冬小麦-夏玉米双机收籽粒模式在新乡地区季节内和季节间降雨量和分配率无明显差异;麦季辐射量降低192.10 MJ/m<sup>2</sup>,积温量降低299.70℃,玉米季辐射量增加340.50 MJ/m<sup>2</sup>,积温量增加522.60℃,周年辐射量和积温分配均差异不大;而冬小麦产值、成本投入和效益都下降,分别下降0.12、0.05、0.09元/hm<sup>2</sup>;夏玉米产值增加0.17元/hm<sup>2</sup>,成本降低0.07元/hm<sup>2</sup>,效益增加0.13元/hm<sup>2</sup>;周年产值相差不大,成本下降0.11元/hm<sup>2</sup>,效益增加0.15元/hm<sup>2</sup><sup>[37]</sup>。周兵提出早稻直播及晚稻抛栽模式的成本比早晚稻机插秧模式低2330.70元/hm<sup>2</sup>,净利润增加1730.80元/hm<sup>2</sup><sup>[38]</sup>。本研究苏裸麦2号-直播南粳5055处理的成本投入最低,为28619.42元/hm<sup>2</sup>,元麦-移栽南粳46处理总收益最高,为23348.79元/hm<sup>2</sup>,元麦-稻模式比传统小麦-稻模式成本投入低,总收益高,可用于推广,增加农民收入。

## 4 结论

本研究中苏裸麦2号-移栽南粳46轮作组合表现最佳,周年产量高,稻米食味品质好,周年总收益最高。元麦-稻轮作模式下,元麦比小麦生育期短,合理搭配中熟晚粳稻优质食味水稻品种,优化水稻季温、光资源利用,可提升南通沿江地区麦稻周年生产力,促进稳粮增效,增加农民总收益,适宜在沿江地区推广。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013:the physical science basis[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2013.
- [2] IPCC. Global warming of 1.5℃:an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5℃ above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways,in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,sustainable development,and efforts to eradicate poverty[M]. Cambridge:Cambridge University Press, 2018.
- [3] IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[M]. Cambridge:Cambridge University Press,2012.
- [4] 曾小艳,郭兴旭. 极端天气、粮食产量波动与农业天气风险管理[J]. 江苏农业科学,2017,45(11):306-309.
- [5] 苏李君,刘云鹤,王全九. 基于有效积温的中国水稻生长模型的构建[J]. 农业工程学报,2020,36(1):162-174.
- [6] 钱永兰,毛留喜,周广胜. 全球主要粮食作物产量变化及其气象灾害风险评估[J]. 农业工程学报,2016,32(1):226-235.
- [7] 朱利群,王春杰,陈利根,等. 长江下游稻麦轮作农田不同施肥措施的固碳潜力分析[J]. 浙江农业学报,2016,28(7):1249-1261.
- [8] 习敏,杜祥备,吴文革,等. 稻麦两熟系统适期晚播对周年产量和资源利用效率的影响[J]. 应用生态学报,2020,31(1):165-172.
- [9] 王梦尧. 稻茬过晚播小麦产量形成与稳产栽培调控途径[D]. 扬州:扬州大学,2021.
- [10] 薛亚光,石吕,韩笑,等. 不同机械耕播方式对稻茬小麦产量形成及经济效益的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(22):94-98.
- [11] 杜祥备,孔令聪,习敏,等. 江淮区域稻麦两熟制周年资源分配、利用特征[J]. 中国生态农业学报(中英文),2019,27(7):1078-1087.
- [12] 李琦,王佳宇,吴强,等. 限水灌溉对河套灌区小麦籽粒品质的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2022,

- 43(6):28–33.
- [13] 石晓旭,杨美英,刘海翠,等. 播种量对过晚播元麦产量与品质的影响[J]. 大麦与谷类科学,2022,39(2):21–28.
- [14] 石晓旭,韩笑,刘海翠,等. 元麦  $\beta$ -葡聚糖含量的差异性及其影响因素的研究进展[J]. 中国农学通报,2022,38(2):12–18.
- [15] 李赢,刘海翠,石晓旭,等. 江苏裸大麦品种农艺及营养品质性状分析[J]. 分子植物育种,2022,20(9):3044–3052.
- [16] 宋居易,陈惠,魏亚凤,等. 元麦  $\beta$ -葡聚糖衍生物的合成及其抑菌作用[J]. 江苏农业科学,2020,48(14):234–238.
- [17] 曹斌,潘志芬,尼玛扎西,等. 青藏高原和国外裸大麦  $\gamma$ -氨基丁酸的含量与分布[J]. 麦类作物学报,2010,30(3):555–559.
- [18] 冯春富. 海归王为箴:“发现”大麦极品——江苏元麦[J]. 华人时刊,2015(4):31–33.
- [19] KUMAR D,NARWAL S,VIRANI S,et al. Barley grain beta glucan enrichment:status and opportunities [J]. *Wheat and Barley Grain Biofortification*,2020:295–308.
- [20] 拾方坚. 中国栽培裸大麦的品种特性及其应用价值[J]. 国外农学(麦类作物),1992(3):41–43.
- [21] 刘猷红,唐傲,张喜娟,等. 籼型细胞质对粳稻杂交后代  $F_1$  稻米品质的影响[J]. 中国稻米,2023,29(2):59–64.
- [22] 杨滨娟,李新梅,胡启良,等. 长江中游不同复种轮作模式的资源利用率及综合效益比较[J]. 中国生态农业学报(中英文),2022,30(9):1501–1510.
- [23] 胡延斌,肖国举,李永平. 气候带北移及其对中国作物种植制度的影响研究进展[J]. 干旱地区农业研究,2020,38(3):269–274.
- [24] 阮新民,陈曦,岳伟,等. 气候变化对安徽省两熟制粮食作物物候期及周年气候资源分配与利用的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2021,29(2):355–365.
- [25] 陶玥玥,盛雪雯,徐坚,等. 长三角水稻-油菜周年两熟温光资源分配与利用特征[J]. 作物学报,2023,49(5):1327–1338.
- [26] 赵杨,高杜娟,李超,等. 洞庭湖区稻田主要种植模式物质生产及光温资源利用效率的比较[J]. 中国生态农业学报(中英文),2022,30(8):1309–1317.
- [27] 张强,姚玉璧,李耀辉,等. 中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望[J]. 地球科学进展,2015,30(2):196–213.
- [28] 陈天晔,袁嘉琦,刘艳阳,等. 江淮下游不同播期对稻-麦周年作物产量、品质及温光资源利用的影响[J]. 作物学报,2020,46(10):1566–1578.
- [29] 李勇,杨晓光,叶清,等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响IX. 长江中下游地区单双季稻高低温灾害风险及其产量影响[J]. 中国农业科学,2013,46(19):3997–4006.
- [30] 张美玲,周莉,周广胜. 气候变暖和降水分配变化导致盘锦地区水稻早熟增产[J]. 中国稻米,2021,27(3):51–56,60.
- [31] 杜祥备,习敏,孔令聪,等. 江淮地区稻-麦周年产量差及其与资源利用关系[J]. 作物学报,2021,47(2):351–358.
- [32] 阮新民. 江淮稻麦周年气候资源优化配置与高效利用[D]. 合肥:安徽农业大学,2023:15–16.
- [33] 赵庆勇,朱镇,张亚东,等. 播期和地点对不同生态类型粳稻稻米品质性状的影响[J]. 中国水稻科学,2013,27(3):297–304.
- [34] DOU Z,TANG S,LI G H,et al. Application of nitrogen fertilizer at heading stage improves rice quality under elevated temperature during grain-filling stage[J]. *Crop Science*,2017,57(4):2183–2192.
- [35] 马义虎,曾孝元,何贤彪,等. 浙东南地区优质稻产量与品质对不同播期气候因子的响应[J]. 浙江农业学报,2023,35(4):736–751.
- [36] 种浩天. 增密减氮对不同类型水稻品种产量、资源利用效率和稻米品质的影响[D]. 荆州:长江大学,2022:34–35.
- [37] 周宝元,陈传永,孙雪芳,等. 冬小麦-夏玉米双机收籽粒模式周年资源利用效率及经济效益[J]. 中国生态农业学报(中英文),2022,30(12):1959–1972.
- [38] 周兵. 不同栽培模式对沿江平原双季稻周年产量效益和资源利用的影响[J]. 中国稻米,2020,26(4):72–76.

# Analysis of Yield, Resource Use Efficiency and Economic Benefit in Different Wheat-rice Rotation Systems

SHI Xiaoxu<sup>1</sup>, SHI Lyu<sup>1</sup>, XUE Yaguang<sup>1</sup>, CHEN Yongjian<sup>2</sup>, LIU Xujie<sup>1</sup>, SHAN Haiyong<sup>1</sup>, ZHANG Jin<sup>1</sup>, HAN Xiao<sup>1</sup>,  
YAN Yini<sup>1</sup>, LIU Haicui<sup>1</sup>, LI Ying<sup>1</sup>, YANG Meiyong<sup>1</sup>, LIU Jian<sup>1</sup>

(1. Jiangsu Yanjiang Area Institute of Agricultural Sciences / Key Laboratory of Recycling Agriculture of Nantong City, Nantong 226012, China; 2. Comprehensive Service Center of Baipu Town, Rugao City, Rugao 226500, China)

**Abstract:** Based on the ecological conditions of the Yangtze River area in Nantong, Suluomai No.2, Yangmai 29, Nangeng 46, Nangeng 5055, and Nangeng 9108 were used as research materials to set up 4 wheat-rice rotation combinations: Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46, Suluomai No.2-direct seeding Nangeng 5055, Yangmai 29-transplanted Nangeng 5055, and Yangmai 29 -direct seeding Nangeng 9108. The application prospects of the “hulless barley-rice” model and the “wheat-rice” model in the Yangtze River area of Nantong were compared by analyzing the correlation between growth characteristics, yield, taste quality of rice, distribution and utilization of temperature, light and water resources, economic benefits, and resource utilization. The results showed that the growth period of Suluomai No.2 was shorter than that of Yangmai 29, and its yield and resource allocation were also lower than Yangmai 29. Yangmai 29-transplanted Nangeng 5055 had the highest yield, but there was no significant difference compared to Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46. Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46 model had the higher yield, resource allocation than other models, and its yield, effective accumulated temperature, solar radiation, sunlight hours, and rainfall was 8 548.8 kg/hm<sup>2</sup>, 2 616.8 °C, 3 215.4 MJ/m<sup>2</sup>, 1 342.10 h, and 632.7 mm, respectively. Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46 had the better taste quality of rice than other models, and its appearance, taste and comprehensive score was 8.40, 8.43, and 76.55, respectively. The annual economic benefits of Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46 model were 3 465.36, 11 847.32, and 11 867.60 yuan/hm<sup>2</sup> higher than those of other models. There was a highly significant positive correlation between wheat yield and rice yield and light, temperature and water resources. The annual yield of wheat-rice had a highly significant negative correlation with solar radiation and sunshine hours, and a significant negative correlation with effective accumulated temperature. The Suluomai No.2-transplanted Nangeng 46 model has achieved the best economic benefits, and it is suitable for moderate scale promotion and production in this area.

**Key Words:** Hulless barley; Wheat; Rice; Yield; Economic benefit

## 欢迎订阅 2024 年《大麦与谷类科学》

《大麦与谷类科学》是《中国期刊全文数据库》《中文科技期刊数据库》《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录期刊、超星域出版平台全文收录期刊、《中国学术期刊综合评价数据库》统计源期刊、国家科技学术期刊开放平台全文收录期刊、原国家新闻出版广电总局首次认定 A 类学术期刊。江苏省一级期刊、2017 年度江苏省精品科技期刊。

《大麦与谷类科学》由江苏省农业科学院主管、江苏沿海地区农业科学研究所主办,是中国作物学会大麦专业委员会与江苏省农学会学术性期刊,内容具有创新性、应用性、系统性、导向性,主要报道大麦、小麦、水稻、玉米、高粱、谷子等谷类作物的研究动态和科研成果,内设栏目有:综述与报告(专家视点)、生理与生态、栽培与育种、土肥与植保、贮藏与加工、资源与环境、种业创新、现代大农业、乡村振兴、简讯与信息、人物介绍等。主要作者与读者为从事农业科研与农技推广的科技人员、农业企业经营管理人员、农业大中专院校师生等。

本刊为双月刊,大 16 开本。国内外公开发行,中国标准连续出版物号 CN32-1769/S、ISSN 1673-6486。国内每期定价 15.00 元,全年 6 期共 90 元,自办发行。

欢迎赐稿,欢迎订阅。可随时直接与本编辑部联系。

电 话:0515-88330625

电子信箱:damkx@163.com

邮局汇款:《大麦与谷类科学》杂志编辑部

银行汇款:江苏沿海地区农业科学研究所

账 号:10-400901040004637

网 址:<http://dmkx.cbpt.cnki.net>

邮 编:224002

地 址:江苏省盐城市开放大道北路 9 号

开户行:盐城市农行建中支行

用 途:订阅费或编审费