东北农业科学　2025,50(3):19-25
Journal of Northeast Agricultural Sciences　DOI: 10.16423/j.cnki.1003-8701.2025.03.003

不同栽培措施对水稻产量、根系形态和土壤理化性质的影响研究

鲍泽然,那永光*,宋冬明,乔金玲,贺　梅,李　静
(黑龙江省农垦科学院水稻研究所,黑龙江 佳木斯 154000)

摘　要:本研究选用龙垦201、龙粳57、垦稻34和空育131为试验材料,探索减氮措施对水稻产量、根系结构以及土壤理化特性的影响。结果表明,增施饼肥后,垦稻34、空育131、龙垦201和龙粳57的产量分别增加了274 kg/hm²、555 kg/hm²、210 kg/hm²和487 kg/hm²。此外,研究还发现,增施饼肥后,土壤pH值较常规栽培提升了16.07%。综上所述,优化栽培措施不仅显著提高水稻产量,还能改善根系结构、优化土壤理化性质。这些研究成果为提高水稻生产效率、推动农业可持续发展提供了有效的技术支撑。

关键词:栽培措施;水稻产量;根系形态;土壤理化性质
中图分类号:S511　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:2096-5877(2025)03-0019-07

Study on the Effects of Different Cultivation Measures on Rice Yield, Root Morphology, and Soil Physicochemical Properties

BAO Zeran, NA Yongguang*, SONG Dongming, QIAO Jinling, HE Mei, LI Jing
(*Rice Research Institute, Heilongjiang Academy of Land Reclamation Sciences, Jiamusi* 154000, China)

Abstract: This study selected rice varieties such as Longken 201, Longjing 57, Kendao 34, and Kongyu 131 to explore the potential effects of nitrogen reduction strategies on rice yield, root morphology, and soil physicochemical properties. The results showed that the application of cake fertilizer increased the yields of Kendao 34, Kongyu 131, Longken 201, and Longjing 57 by 274 kg/ha, 555 kg/ha, 210 kg/ha, and 487 kg/ha, respectively. In addition, the study found that after increasing the application of cake fertilizer, the soil pH value increased by 16.07% compared to conventional cultivation. In summary, optimizing cultivation measures not only significantly increases rice yield but also improves root structure and optimizes soil physicochemical properties. These research results have practical significance, providing effective technical support for improving rice production efficiency and promoting sustainable agricultural development.

Key words: Cultivation measure; Rice yield; Root morphology; Soil physical and chemical property

水稻的生长过程受环境因素的影响[1-2],其中,氮肥和水分管理尤为重要。传统的淹水栽培法虽被广泛应用,却存在引发水分过度消耗的明显缺陷,导致淡水资源的浪费。在这一现状下,寻求水稻高产与节约用水之间的平衡已成为新的研究课题[3-4]。同时,氮肥的适量施用是调控水稻生长、促进产量提升的重要环节。在农业生产中,农民往往采取比较粗放的施肥方法,这不仅降低了氮肥的利用效率,还可能带来环境污染等一系列问题[5-6]。因此,优化氮肥管理,特别是实施"减氮"措施,已成为当前水稻生产领域的一个研究热点[7]。针对以上问题,本研究对不同的水稻栽培技术进行了深入探究,旨在探明其对水稻产量、根系结构以及土壤理化性质的影响。期望更加精确地评估不同栽培技术对水稻生长的促进作用,并制定出提升资源利用效率、增加水稻产量的最佳实践方案。

收稿日期:2024-05-12
基金项目:国家水稻产业技术体系项目(CARS-01-58);北大荒集团种业创新发展项目(2022ZY0102-02-06)
作者简介:鲍泽然(1988-),男,助理研究员,硕士,主要从事作物育种研究。
通信作者:那永光,E-mail: nknyg@163.com

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验在黑龙江省农垦科学院的实验农场进行,水稻品种为空育131、垦稻34、龙垦201和龙粳57。

前茬作物为小麦。土壤类型为沙壤土，土壤有机质含量24.4 g/kg、速效钾含量68.5 mg/kg、速效磷含量34.5 mg/kg、碱解氮含量106 mg/kg。

1.2 试验设计

试验共设6种栽培方式，3次重复，随机区组排列，小区面积30 m²。垦稻34和空育131于2021年5月22日播种，6月12日移栽，栽插密度为双本栽插。龙垦201和龙粳57于2022年5月22日播种，6月11日移栽，采用了双本栽插的方式。

常规栽培：施氮量150 kg/hm²，基肥50%，叶肥20%，促花肥20%，保花肥10%。株行距为13.3 cm×30 cm。常规灌溉，在生长的中期阶段，为避免无效分蘖，进行了排水和搁田处理。除此阶段以外，其他时间均维持田间的水层，直至收获前7 d断水。

氮空白：施磷肥90 kg/hm²，磷酸钙含量13.5%。作为基肥，一次性施入。施钾肥120 kg/hm²，氯化钾含量63%。钾肥作为基肥和促花肥施用，比例为6∶4。其余栽培措施与常规栽培一致。

减氮栽培：施氮量120 kg/hm²，施氮比例为基肥40%，叶肥20%，促花肥20%，保花肥20%。其余栽培措施与常规栽培一致。

增密减氮：施氮量与减氮栽培一致，株行距为10.7 cm×30 cm。其余栽培措施与常规栽培措施一致。

精确灌溉：在返青期进行间隙湿润灌溉，即交替供应水分和保持土壤适度干燥，确保土壤水势不低于10 kPa[8-9]。这样有助于促进根系生长和养分吸收，为后续的分蘖提供充足的水分和养分。从分蘖期到二次枝梗分化期，采取干湿交替灌溉，使土壤保持适宜的湿度，为水稻提供充足的氧气和养分，促进根系生长和养分吸收[10-11]。其余的栽培措施与增密减氮栽培措施一致。

增施饼肥：在基肥中施加菜籽饼肥2 250 kg/hm²，其余栽培措施与精确灌溉栽培措施一致。

1.3 试验方法

1.3.1 水稻植株性状的测定

在成熟期，每个小区对角线选取1 m²面积，3次重复，统计有效穗数和总穗数，计算结实率。选择20穗生长正常的水稻样本，统计每穗粒数，取平均值作为穗粒数。收获测产，统计千粒重和小区产量，折合公顷产量。

在分蘖期和成熟期，每个小区选取5株代表性植株，3次重复，清洗根系后利用Espon Expression 11000 XL根系扫描仪对根系进行图像采集，通过WinRHIZO软件分析根系长度及根直径。

1.3.2 土壤理化性质测定

通过抖根法采集水稻根际的土壤样本[12-13]。将完整根系垂直提起后，轻拍根茎部3次去除松散土体（非根际土），保留紧密附着在根表的2 mm厚土壤（根际土）。使用消毒后的镊子，剥离水稻根茎上附着的根际土，置于冰盒内待用。

利用凯氏定氮仪测定土壤氮元素含量，利用ICP仪测定土壤中磷和钾元素含量。采用电位法测定土壤pH值，其中水土比例为2.5∶1[14]。

1.4 数据处理与分析

利用Excel 2013软件进行数据处理与分析。使用Origin 2021软件进行图表制作。

2 结果与分析

2.1 不同栽培措施对水稻产量的影响

从表1可以看出，垦稻34在增施饼肥处理条件下产量最高，达到9 915 kg/hm²，比常规栽培增加274 kg/hm²，增产率达2.84%。空育131增施饼肥处理的产量为8 196 kg/hm²，比常规栽培增加555 kg/hm²，增产率达7.26%。龙垦201在增施饼肥处理下产量最高，为9 399 kg/hm²，比常规栽培增加210 kg/hm²，增产率达2.23%。龙粳57在增施饼肥处理下产量最高，为9 519 kg/hm²，比常规栽培增加487 kg/hm²，增产率达5.39%。综上结果表明，增施饼肥能够有效提高水稻产量。

2.2 不同栽培措施对水稻根系形态的影响

2.2.1 不同栽培措施对水稻根长的影响

从图1（a）可以看出，抽穗期，龙粳57的根长在增密减氮、精确灌溉、增施饼肥处理条件下较常规栽培处理分别增加了24.55%、27.54%和6.59%。由图1（b）可知，抽穗期，龙垦201的根长在增密减氮、精确灌溉、增施饼肥处理条件下较常规栽培处理增长率分别达到36.48%、11.48%和19.59%，说明不同栽培措施对水稻根部生长产生一定的影响。通过调整栽培条件，尤其是种植密度、氮肥管理和灌溉方法的优化，可以促进水稻根部生长，这对于提高作物的吸水、吸肥能力以及产量有积极的作用[15]。

2.2.2 不同栽培措施对水稻根直径的影响

从图2可以看出，龙粳57和龙垦201在穗分化期都出现了根直径的增长。从图2（a）可以看出，穗分化期，龙粳57在增密减氮、精确灌溉、增施饼肥处理条件下根直径较常规栽培处理分别增加26.19%、30.95%和35.71%。由图2（b）可知，穗

表1　不同栽培措施对水稻产量的影响

Table 1 Rice yield under different cultivation measures

2021年							2022年						
品种 Variety	栽培措施 Cultivation measure	结实率/% Comple-tion rate	穗数/万穗·hm^{-2} Thousand-grain weight	穗粒数 Number of grains per ear	千粒重/g 1000-grain weight	产量/kg·hm^{-2} Yield	品种 Variety	栽培措施 Cultivation measure	结实率/% Comple-tion rate	穗数/万穗·hm^{-2} Thousand-grain weight	穗粒数 Number of grains per ear	千粒重/g 1000-grain weight	产量/kg·hm^{-2} Yield
垦稻34	减氮	95.78	16.34	111.16	25.21	9 625	龙垦201	减氮	66.91	25.22	78.64	25.88	9 208
	精确灌溉	96.84	17.94	131.16	25.22	9 435		精确灌溉	70.71	28.51	78.94	25.16	9 337
	增密减氮	95.26	17.65	130.64	25.34	9 757		增密减氮	69.16	26.94	79.98	25.23	9 306
	增施饼肥	97.10	18.06	133.64	25.36	9 915		增施饼肥	71.51	30.64	79.54	25.03	9 399
	氮空白	97.90	15.34	111.16	26.21	9 601		氮空白	75.48	16.48	77.64	25.56	9 101
	常规栽培	96.54	16.64	119.64	25.47	9 641		常规栽培	69.54	25.81	79.06	25.76	9 189
空育131	减氮	75.53	17.93	82.44	16.51	7 561	龙粳57	减氮	85.61	23.33	90.61	25.51	8 983
	精确灌溉	77.65	21.39	82.56	16.53	7 864		精确灌溉	90.74	27.81	90.41	25.49	9 504
	增密减氮	76.02	20.69	82.76	16.52	7 949		增密减氮	88.16	26.22	90.35	25.31	9 515
	增施饼肥	76.77	22.51	82.86	16.55	8 196		增施饼肥	90.21	28.91	90.64	25.35	9 519
	氮空白	77.84	13.64	80.64	16.94	7 516		氮空白	91.55	18.19	88.61	26.03	8 194
	常规栽培	74.81	18.49	82.32	16.55	7 641		常规栽培	87.19	24.29	90.52	25.47	9 032

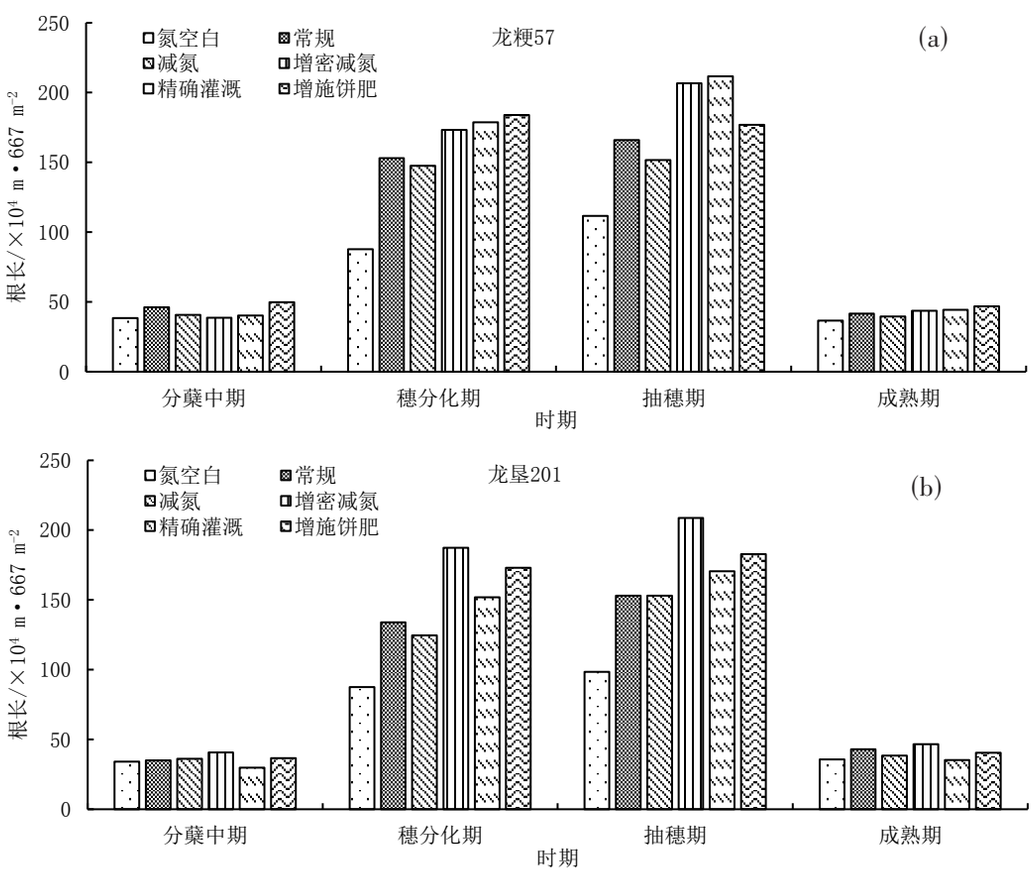

图1　不同栽培措施对水稻根长的影响

Fig.1 Effects of different cultivation practices on rice root length

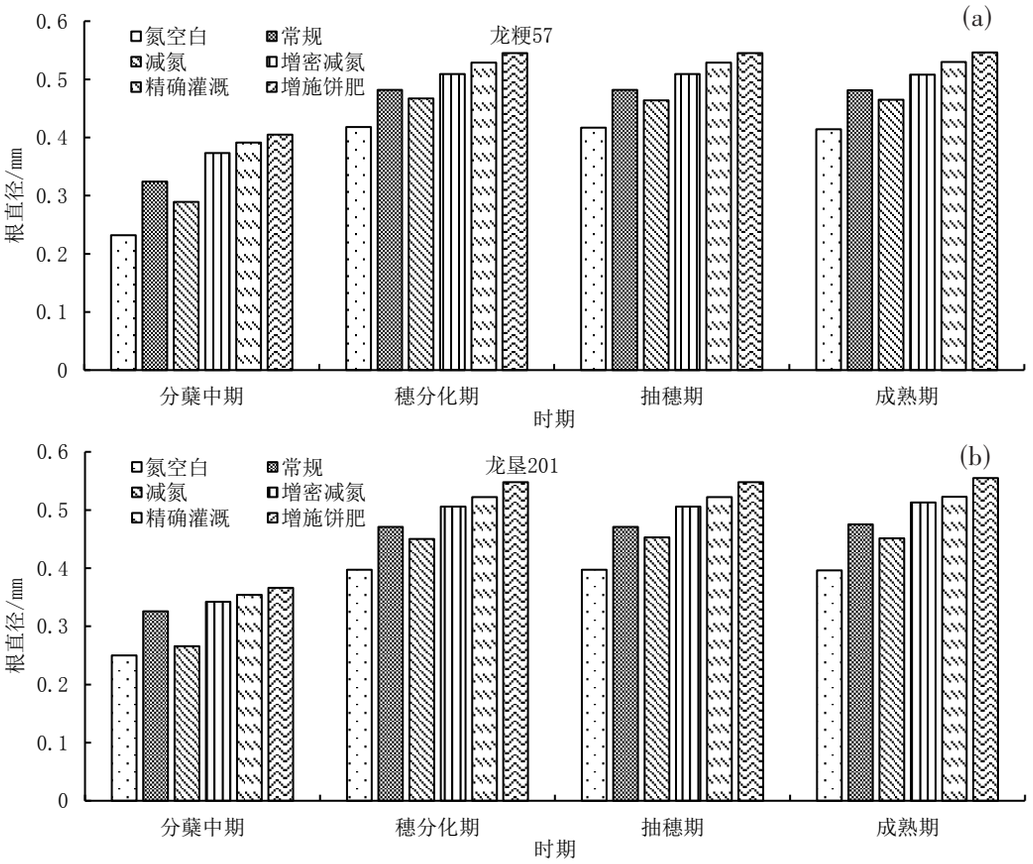

图2 不同栽培措施对水稻根直径的影响

Fig.2 The effect of different cultivation measures on rice root diameter

分化期，龙垦201在增密减氮、精确灌溉、增施饼肥处理条件下根直径比常规栽培处理分别增加29.26%、31.70%和39.02%。说明通过改进栽培技术，特别是通过合理调整密度、施肥和灌溉措施，可以促进水稻根系直径的增长。

2.3 不同栽培措施对土壤理化性质的影响

2.3.1 不同栽培措施下土壤氮、磷、钾含量

以垦稻34为研究对象，分析不同栽培条件下土壤中氮、磷、钾的含量。从表2可以看出，随着水稻生长周期的推进，根际土壤中的氮、磷、钾含量呈现下降趋势。常规栽培条件下，氮含量从分蘖中期的2.16 mg/g下降到成熟期的1.88 mg/g。这表明水稻在生长过程中不断吸收氮素，导致根际土壤氮含量逐渐减少。与常规栽培相比，实施精确灌溉、增密减氮以及减氮的栽培方式后土壤氮含量明显下降。在成熟期，减氮处理条件下根际

表2 不同栽培措施条件下土壤氮、磷、钾含量 mg/g

Table 2 Soil nitrogen, phosphorus, and potassium content under different cultivation measures

生育期 Growth period	栽培措施 Cultivation measure	根际土 Rhizosphere soil			非根际土 Bulk soil		
		氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content	氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content
分蘖中期	减氮	2.15	2.53	4.46	2.44	2.65	4.35
	精确灌溉	2.15	2.60	4.77	2.11	2.80	4.26
	增密减氮	2.07	2.55	4.41	2.10	2.77	4.32
	增施饼肥	2.24	2.67	4.95	2.62	2.93	4.93
	氮空白	1.93	2.21	4.62	2.02	5.53	4.62
	常规栽培	2.16	2.65	4.48	2.53	2.87	4.51

续表2

Table 2 continued

生育期 Growth period	栽培措施 Cultivation measure	根际土 Rhizosphere soil			非根际土 Bulk soil		
		氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content	氮含量 Nitrogen content	磷含量 Phosphorus content	钾含量 Potassium content
穗分化期	减氮	1.95	2.35	3.81	2.21	2.42	4.29
	精确灌溉	2.00	2.40	3.72	2.13	2.48	4.66
	增密减氮	1.90	2.36	3.76	2.10	2.37	4.35
	增施饼肥	2.30	2.51	3.98	2.34	2.65	3.96
	氮空白	1.50	2.16	3.94	20.1	2.32	4.27
	常规栽培	2.10	2.43	3.62	2.15	2.52	4.02
抽穗期	减氮	1.90	2.18	3.85	2.18	2.36	4.04
	精确灌溉	1.95	2.11	3.77	2.18	2.27	3.70
	增密减氮	1.85	2.16	3.52	2.15	2.34	3.87
	增施饼肥	2.25	2.43	4.06	2.53	2.55	4.33
	氮空白	1.40	1.97	3.97	1.95	2.23	4.28
	常规栽培	2.05	2.34	3.76	2.35	2.44	3.87
成熟期	减氮	1.33	1.82	3.34	2.10	1.98	3.34
	精确灌溉	1.62	1.83	3.41	2.15	2.08	3.49
	增密减氮	1.58	1.91	3.42	2.07	2.02	3.56
	增施饼肥	1.99	2.18	3.62	2.31	2.24	3.79
	氮空白	1.25	1.95	2.24	1.60	2.13	3.17
	常规栽培	1.88	1.88	3.20	2.25	1.90	3.23

土壤氮含量为1.33 mg/g,比常规栽培条件下低0.55 mg/g。

垦稻34在分蘖中期,常规栽培条件下非根际土壤氮含量为2.53 mg/g,而根际土壤氮含量为2.16 mg/g。这一现象与根系对氮素的吸收和利用导致根际土壤氮含量降低有关,对于理解不同栽培措施如何影响土壤肥力以及如何优化肥料管理具有重要意义。

2.3.2　不同栽培措施对土壤pH值的影响

以空育131为研究对象,分析不同栽培措施条件下土壤pH值的变化。从图3可以看出,随着水稻生长周期的延长,土壤pH值呈现缓慢下降的趋势。这一变化表明,在水稻的生长过程中,根系会分泌有机酸,这些有机酸与土壤中的矿物质发生反应,导致氢离子浓度增加,从而使土壤pH值降低。对比常规栽培处理,其他5种栽培方式

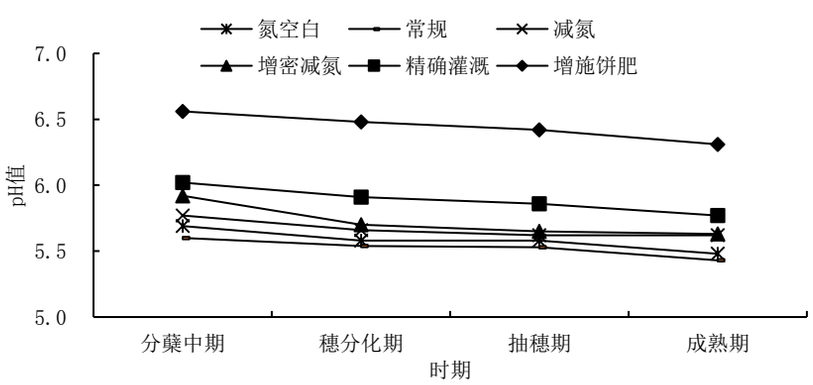

图3　不同栽培措施下土壤pH值对比

Fig.3 Comparison of soil pH values under different cultivation measures

都对土壤pH值产生了提升的作用。饼肥含有丰富的有机质和矿物元素，有助于提高土壤的有机质含量，增加土壤的缓冲能力，减少酸性物质的积累；精确灌溉则通过减少过量施肥和水分积累，降低了土壤酸化的速率。其中，增施饼肥的栽培措施在提升pH值方面效果最为明显。成熟期，土壤pH值相较常规栽培增加16.07%。反映了增施饼肥在调节土壤酸碱性方面的潜在优势，有助于改善土壤环境，从而为水稻的生长创造更加适宜的条件。

3 结 论

水稻是我国重要的粮食作物，在保障粮食安全、促进社会可持续发展方面具有深远的影响。本研究对比分析了6种栽培措施，以揭示栽培方式对水稻产量的影响。结果表明，垦稻34、空育131、龙垦201和龙粳57在增施饼肥后产量分别达到了9 915、8 196、9 399、9 519 kg/hm^2。在抽穗期，实施增密减氮、精确灌溉和增施饼肥等措施时，龙粳57的根长增长率分别为24.55%、27.54%和6.59%；龙垦201根长增长率分别为36.48%、11.48%和19.59%。龙粳57的根直径增长率分别为26.19%、30.95%和35.71%，龙垦201根直径增长率分别为29.26%、31.70%和39.02%。研究还发现，随着水稻生长周期的推进，根际土壤中的氮、磷、钾含量呈现下降态势。值得注意的是，增施饼肥后土壤pH值相比常规栽培提高了16.07%。总体而言，通过精细化管理水稻栽培措施，不仅可以显著提高产量，还能改善根系结构、优化土壤理化性质。

参考文献：

[1] 蒋伟勤，车阳，李可，等.江苏省水稻栽培关键技术应用现状及展望[J].江苏农业学报，2023，39(2)：567-575.
JIANG W Q, CHE Y, LI K, et al. Current status and prospects of key rice cultivation technologies in Jiangsu Province[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 39(2): 567-575. (in Chinese)

[2] 常传义，吴家安，高明宇，等.有机水稻覆膜栽培技术与机具研究进展[J].江苏农业科学，2022，50(22)：46-55.
CHANG C Y, WU J A, GAO M Y, et al. Research progress on organic rice mulching cultivation technology and machinery[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(22): 46-55. (in Chinese)

[3] 陈生良，陈晶杰，陈惠哲.稻虾种养模式下水稻品种筛选及关键栽培技术[J].中国稻米，2022，28(2)：88-90，93.
CHEN S L, CHEN J J, CHEN H Z. Rice variety selection and key cultivation techniques under the rice-shrimp farming model [J]. Chinese Rice, 2022, 28(2): 88-90, 93. (in Chinese)

[4] 怀宝东，闫凤超，曹有鑫，等.北方寒地绿色功能型水稻栽培技术试验[J].中国稻米，2021，27(3)：78-82，88.
HUAI B D, YAN F C, CAO Y X, et al. Experiment on green functional rice cultivation techniques in northern cold regions [J]. Chinese Rice, 2021, 27(3): 78-82, 88. (in Chinese)

[5] 姬景红，刘双全，马星竹，等.施氮对北方粳稻产量、品质及氮肥利用率的影响[J].东北农业科学，2024，49(1)：1-6.
JI J H, LIU S Q, MA X Z, et al. Effects of nitrogen application on yield, quality, and nitrogen fertilizer utilization efficiency of northern japonica rice[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(1): 1-6. (in Chinese)

[6] 张洪程，胡雅杰，杨建昌，等.中国特色水稻栽培学发展与展望[J].中国农业科学，2021，54(7)：1301-1321.
ZHANG H C, HU Y J, YANG J C, et al. Development and prospects of characteristic rice cultivation in China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(7): 1301-1321. (in Chinese)

[7] ÇOLAK Y B. Comparison of aerobic rice cultivation using drip systems with conventional flooding[J].The Journal of Agricultural Science, 2021,159(7-8): 544-556.

[8] 赵金标，胡雪，徐承昱，等.高温下秸秆还田耦合减氮对水稻剑叶光合生理特性的影响[J].中国农业大学学报，2023，28(12)：39-53.
ZHAO J B, HU X, XU C Y, et al. Effects of straw return coupled with nitrogen reduction on rice flag leaf photosynthetic physiological characteristics under high temperature[J]. Journal of China Agricultural University, 2023, 28(12): 39-53. (in Chinese)

[9] 石吕，石晓旭，李赢，等.江苏如东草甸土水稻穗肥减氮运筹技术研究[J].核农学报，2023，37(11)：2268-2277.
SHI L, SHI X X, LI Y, et al. Research on nitrogen reduction technology for rice spike fertilization in Rudong meadow soil[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2023, 37(11): 2268-2277. (in Chinese)

[10] 陈丽，刘炜，贺奇，等.水稻直播栽培对稻米品质的影响[J].东北农业科学，2023，48(2)：1-5，113.
CHEN L, LIU W, HE Q, et al. Effects of direct-seeding cultivation on rice quality[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(2): 1-5,113. (in Chinese)

[11] 张凯，陈明睿，刘秋员.减氮增密对籼粳杂交稻产量和稻米品质的影响[J].河南农业科学，2023，52(10)：14-21.
ZHANG K, CHEN M R, LIU Q Y. Effects of nitrogen reduction and density increase on yield and rice quality of indica-japonica hybrid rice[J]. Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(10): 14-21. (in Chinese)

[12] 黄志成，姚宇，付第慧，等.基本苗密度和氮肥管理措施对水稻产量和品质形成的影响综述[J].江苏农业科学，2023，51(18)：34-39.
HUANG Z C, YAO Y, FU D H, et al. A review on the effects of basic seedling density and nitrogen management on rice yield and quality[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(18): 34-39. (in Chinese)

[13] 袁沛，周旋，杨威，等. 化肥减氮配施对洞庭湖区双季稻产量和田面水氮磷流失风险的影响[J]. 中国水稻科学，2023，37（5）：518-528.
YUAN P, ZHOU X, YANG W, et al. Effects of fertilizer reduction and nitrogen-phosphorus application on yield and the risk of nitrogen and phosphorus loss in the Dongting Lake double-season rice area[J]. Chinese Rice Science, 2023, 37(5): 518-528. (in Chinese)

[14] GAO S J, ZOU G P, CAO W D. Effects of milk vetch (*Astragalus sinicus*) as winter green manure on rice yield and rate of fertilizer application in rice paddies in south China[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(12): 2115-2126.

[15] 汪帆，胡大鹏，郑玉涛，等. 减氮增钾对水稻产量品质和土壤肥力的影响[J]. 江苏农业科学，2023，51（17）：86-90.
WANG F, HU D P, ZHENG Y T, et al. Effects of nitrogen reduction and potassium increase on rice yield, quality, and soil fertility[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(17): 86-90. (in Chinese)

（责任编辑：范杰英）

《东北农业科学》征订启事

《东北农业科学》是吉林省农业科学院（中国农业科技东北创新中心）主办的农业综合类学术期刊。2011版、2017版中文核心期刊，吉林省一级期刊。本刊融学术性、技术性、信息性和知识性于一体，是理论与实践相结合、普及与提高并重的刊物。旨在报道最新农业科研成果、研究进展和科技动态，传播农业科学知识，推广农业新品种和新技术，介绍农业生产新经验等。辟有作物育种栽培、生物技术、土壤肥料、植物保护、畜牧兽医、园艺果树、农业经济和农产食品加工等栏目。

《东北农业科学》面向全国公开发行，主要为各图书情报部门的中文期刊采购和读者需求服务，为广大农民朋友、农业科研人员、农业技术推广人员、农业生产管理者和农业院校师生服务。

《东北农业科学》为双月刊，逢双月25日出版，刊号：ISSN2096-5877　CN22-1376/S，每期定价16.00元，全年96.00元。邮发代号：12-71，全国各地邮局（所）均可订阅，漏订者亦可随时向本刊编辑部订阅，不另收邮费。

电　话：0431-87063151

E-mail：jlnykx@163.com

地　址：吉林省长春市生态大街1363号《东北农业科学》编辑部

邮政编码：130033