



绿色超级稻品种在再生稻种植模式下的产量与氮素利用效率

杨国栋¹, 杨姗姗¹, 张新晨¹, 陈馨睿¹, 王宇诚¹, 喻兴¹, 王斌², 熊栋梁¹, 彭少兵¹, 袁坤^{1*}

1. 作物遗传改良全国重点实验室, 湖北洪山实验室, 农业农村部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室, 华中农业大学植物科学技术学院, 武汉 430070

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081

* 联系人, E-mail: syuan@mail.hzau.edu.cn

收稿日期: 2025-08-12; 接受日期: 2025-11-04; 网络版发表日期: 2026-02-12

国家自然科学基金(批准号: T2261129473)、国家重点研发计划(批准号: 2022YFD2301003)、湖北省科技厅国际科技合作项目(批准号: 2024EHA059)、中国博士后基金(批准号: 2023M741300)和湖北洪山实验室重大项目(批准号: 2022hszd008)资助

摘要 提高再生稻氮素利用效率并减少氮肥用量, 对于推动再生稻绿色高效发展具有重要意义. 绿色超级稻品种具有氮肥高效利用的特征, 可以在减少氮肥投入的同时提高氮素利用效率. 然而, 其在再生稻种植模式下的产量表现、产量形成特征以及氮素利用效率特征尚不明确. 本研究于2023和2024年在湖北蕲春进行, 在头季和再生季分别施用90和75 kg N/ha(均为常规施氮量的50%)的条件下, 系统研究了4个候选绿色超级稻品种和2个生产对照品种的表现. 结果表明, 候选绿色超级稻两优8612、隆两优8612、甬优4949和甬优6711在2023和2024年的周年产量分别为15.7~17.2和16.0~17.5 t/ha, 较对照品种两优6326和黄华占平均增产9.7%~37.8%和15.9%~37.8%. 较高的每穗颖花数、总干物质积累量和收获指数是其实现高产的关键农艺性状. 与对照品种相比, 候选绿色超级稻在头季和再生季总氮吸收量分别提高12.3%和16.1%, 再生季的氮素收获指数和氮素籽粒生产效率分别提高13.7%和24.8%, 表明其在低氮条件下具有更强的氮素吸收和利用能力. 综上所述, 绿色超级稻品种应用于再生稻生产可以在低氮投入下协同实现高产和氮素高效利用.

关键词 绿色超级稻, 再生稻, 产量, 氮素利用效率

再生稻是指头季水稻收获后, 通过采取适宜的栽培管理措施, 使稻桩上存活的休眠芽重新萌发成穗, 再收获一季水稻的种植模式^[1,2]. 再生稻具有“一种两收”的优点, 对于提高我国水稻产量和农民收入具有重要意义^[3,4]. 目前, 再生稻已成为我国南方稻区的重要

种植模式, 总种植面积约为110万公顷, 主要分布在湖北、四川、湖南、江西、福建、广东、重庆等地区^[1]. 近年来, 随着品种改良和栽培技术的优化, 再生稻产量持续增加, 头季和再生季产量分别达到了10.0~11.0和5.0~7.0 t/ha, 周年产量超过了15.0 t/ha^[4]. 然而, 当前再

引用格式: 杨国栋, 杨姗姗, 张新晨, 等. 绿色超级稻品种在再生稻种植模式下的产量与氮素利用效率. 中国科学: 生命科学, 2026, 56: 1273–1284
Yang G D, Yang S S, Zhang X C, et al. The yield and nitrogen use efficiency of Green Super Rice varieties in ratoon rice system (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2026, 56: 1273–1284, doi: 10.1360/SSV-2025-0258

生稻生产中头季和再生季的总施氮量普遍高达 300 kg N/ha, 过高的施氮量不仅显著增加了生产成本, 还降低了氮素利用效率, 不利于再生稻的绿色可持续发展^[2,5,6]。此外, 再生季的生长发育受头季收获后稻桩的营养状态影响较大, 产量波动性强, 也进一步限制了再生稻的推广^[1]。

选用高产高效品种是提高再生稻产量和氮肥利用效率的重要策略。绿色超级稻品种具有氮肥高效利用的特点, 以往的研究表明, 该类品种能有效降低氮肥投入, 提高氮素利用效率^[7,8]。自2005年张启发院士首次提出“绿色超级稻”的设想以来, 我国科学家在过去近20年中培育出了一批具有高产、优质、抗病、抗虫、耐旱、营养高效等综合绿色性状的水稻品种, 并配套建立了节水、节肥、省药的丰产高效绿色栽培技术体系^[9~12]。例如在中稻系统中, 绿色超级稻品种相比普通超级稻品种的叶片光合能力更强, 茎蘖成穗率和灌浆期的作物生长速率更高, 促进了植株生物量提高进而增加籽粒产量^[7,13,14]。在遭遇高温胁迫后, 绿色超级稻的花粉育性高于常规水稻品种, 提高了结实率, 缓解了高温胁迫的危害^[15]。在双季稻系统中, 高产绿色超级稻品种在早季和晚季的单位面积颖花数均高于生产对照品种, 但结实率和粒重差异不明显^[16]。在再生稻生产中应用绿色超级稻品种或许头季收获后稻桩中残留更高的营养物质可以为再生季再生芽生长提供充足的物质基础, 有利于再生季高产。此外, 绿色超级稻品种的抗病、抗虫和高肥料利用效率能够节省农药和化肥的投入, 减少对农田环境的影响^[9], 能够促进再生稻生产的绿色可持续发展。虽然绿色超级稻品种具有诸多优势, 但以往的研究多集中在中稻或双季稻系统, 其在再生稻生产中的表现仍然缺乏系统研究。一方面, 绿色超级稻品种生育期一般为120~150 d, 在再生稻模式下部分品种生育期偏长, 需要合理调整头季播期和收获期, 以避免再生季遭遇低温冷害造成减产的情况。另一方面, 绿色超级稻高物质积累量和产量的优势能否由头季延续到再生季尚不清楚。目前关于再生稻的研究大多集中在普通杂交稻品种, 且多在常规氮肥水平下开展研究, 关于绿色超级稻品种作再生稻的研究较少。

因此, 本研究在华中地区开展试验, 在低氮水平下选用前期筛选出的4个候选绿色超级稻品种和2个目前在再生稻生产上大面积应用的品种作为供试材料^[14],

旨在明确不同品种头季和再生季的生育期、产量表现及其关键农艺性状, 揭示候选绿色超级稻品种在头季和再生季的氮素吸收和利用规律。研究结果将为绿色超级稻品种在再生稻生产中的推广应用提供理论依据和技术支持, 助力再生稻高产高效品种选育及其配套栽培技术的优化。

1 材料和方法

1.1 试验条件

大田试验于2023~2024年在湖北省黄冈市蕲春县赤东镇酒铺村(30°14'N, 115°25'E)进行。该地区属于典型的亚热带季风气候, 再生稻的生长期为3~11月。在施基肥前1天取, 从耕层(0~20 cm)按五点混合法采集土样用于测定土壤理化性质。2023和2024年土壤的主要理化指标分别为: pH 5.05和4.90, 有机质含量38.6和34.1 g/kg, 全氮2.3和2.4 g/kg, 速效磷9.5和8.4 mg/kg, 速效钾165.4和164.4 mg/kg。试验期间再生稻生育期内的气象数据(日太阳辐射量、日最低温度、日最高温度和日降雨量)由位于基地内的小型自动农业气象站(Campbell Scientific Inc., 美国)连续监测和采集。

1.2 试验设计与田间管理

试验采用随机区组设计, 重复3次, 试验处理为6个不同的水稻品种, 分别为候选绿色超级稻品种玮两优8612、隆两优8612、甬优6711、甬优4949, 以及在华中地区再生稻生产中大面积种植的杂交稻品种两优6326和常规稻品种黄华占, 具体信息见表1。

在两年试验中, 头季均于3月24日播种, 采用湿润育秧, 4月26日移栽, 三本移栽, 株行距为13.3 cm×30.0 cm。试验中头季氮肥施用总量为90 kg N/ha, 按基肥:分蘖肥:穗肥=4:3:3的比例, 分别在移栽前1 d、移栽后7 d和幼穗分化期施用。磷肥和钾肥施用量分别为40和60 kg K/ha, 均作基肥在移栽前1 d一次性施用, 氮、磷、钾肥料形式分别为尿素(46.0% N)、氯化钾(40.0% K₂O)和过磷酸钙(12.0% P₂O₅)。再生季总施氮量为75 kg N/ha, 在头季收获后3 d作提苗肥一次性施用。在该试验中, 头季和再生季氮肥用量均为当地再生稻生产中常规氮肥用量的50%, 磷和钾肥用量与常规用量保持一致。水分管理参照当地农户常规管理方式进行, 除头季分蘖中期达到基本苗数后及时进行排水晒田以减少无效分

表 1 供试品种信息^{a)}
Table 1 Information about varieties used in the experiment^{a)}

品种	类型	审定年份	选育单位
玮两优8612	籼型两系杂交稻	2023	袁隆平农业高科技股份有限公司等
隆两优8612	籼型两系杂交稻	2019	袁隆平农业高科技股份有限公司等
甬优6711	籼粳交三系杂交稻	2020	宁波市种子有限公司
甬优4949	籼粳交三系杂交稻	2021	宁波市种子有限公司等
两优6326	籼型两系杂交稻	2007	宣城市农业科学研究所
黄华占	籼型常规稻	2007	广东省农业科学院水稻研究所

a) 供试品种信息来源于国家水稻数据中心(<http://www.ricedata.cn/variety>)

蘖发生外, 生长期始终维持3~5 cm的浅水层至成熟收获前7~10 d进行排水以便于收获. 再生季在头季收获后立即覆水, 且维持田间3~5 cm水层直至收获前7~10 d. 头季采用人工收割, 留桩高度为45 cm. 全生育期内实施精细化管理, 严格控制病虫害草害以防止产量损失.

1.3 测定指标与方法

记录头季和再生季的关键生育时期, 包括头季的移栽期、齐穗期和成熟期以及再生季的齐穗期和成熟期. 头季生育期为头季播种至头季收获的天数, 再生季生育期为头季收获至再生季收获的天数, 周年生育期为从头季播种至再生季收获的天数.

在头季齐穗期和再生季齐穗期, 每个小区取代表性植株12蔸, 烘干至恒重后称重, 计算干物质积累量. 头季成熟期和再生季成熟期取样测定实际产量(14%含水量). 此外, 每个小区选择具有代表性的12蔸植株测定产量构成因子、干物质积累量和收获指数, 并计算花前干物质积累量和花后干物质积累量, 具体方法参照崔思宇^[14]. 最后参考Huang等人^[13]计算单位面积穗数、单位面积颖花数、每穗颖花数(颖花数/穗数)、结实率(饱粒数/单位面积颖花数×100%)、千粒重、收获指数(产量/地上部生物量×100%). 再生力为再生季和头季单位面积穗数的比值.

采用同位素质谱仪(Elementar Trading Co., Ltd, 德国)测定头季和再生季成熟期各器官的氮素浓度, 并根据各器官干物质积累量计算氮含量. 参考Yu等人^[6]计

算头季和再生季氮素吸收总量、氮素籽粒生产效率和氮素收获指数.

1.4 数据处理与分析

试验数据采用Excel 2016进行计算和整理. 采用软件Statistix 9.0进行方差分析, 并在LSD_{0.05}水平上进行多重比较. 采用Origin 2024进行作图.

2 结果

2.1 气象条件和生育期

在该试验中, 2023和2024年水稻生长期间的气象条件相似, 整体呈现从头季移栽至再生季收获期间日最高温和日最低温先增加后降低的趋势(图1). 头季的平均日最高温和最低温分别为30.4和22.6℃, 比再生季分别高0.4和1.9℃. 头季的日均辐射量平均为15.5 MJ/(m² d), 较再生季高1.1 MJ/(m² d). 在不同年份间, 2023年再生稻生长季的平均日最高温和日最低温分别为29.9和21.3℃, 比2024年分别高0.7和0.5℃. 2023年再生稻整个生长季的日均辐射量平均为14.2 MJ/(m² d), 较2024年低0.8 MJ/(m² d). 2023和2024年再生稻生长季的降雨总量差异较小, 分别为656.0和711.4 mm, 均集中在头季移栽后50~80 d, 再生季降雨较少.

不同品种的周年生育期在2023和2024年分别为185~228和192~219 d(图2), 均能够安全成熟, 满足华中地区再生稻生产对品种的生育期要求. 头季的生育期在两年间差异不大, 分别为131~139和129~141 d. 再生季的生育期明显短于头季, 且年际差异较大, 其生育期在2023和2024年分别占头季生育期的60.8%和54.0%. 候选绿色超级稻品种玮两优8612、甬优4949、甬优6711和隆两优8612的生育期差异较小(214~228 d), 但均长于对照品种两优6326和黄华占(185~210 d). 其中, 黄华占的周年生育期相比于候选绿色超级稻品种平均短33 d, 这主要是由于其再生季生育期较短.

2.2 产量和产量构成

品种对头季和再生季产量均具有显著影响, 而年份对两季产量均没有显著影响, 且品种和年份对产量无显著交互作用(图3). 不同品种的头季和再生季产量在2023年分别为7.94~10.11和4.34~7.61 t/ha, 2024年分别为8.24~9.38和4.50~8.24 t/ha. 周年产量分别为

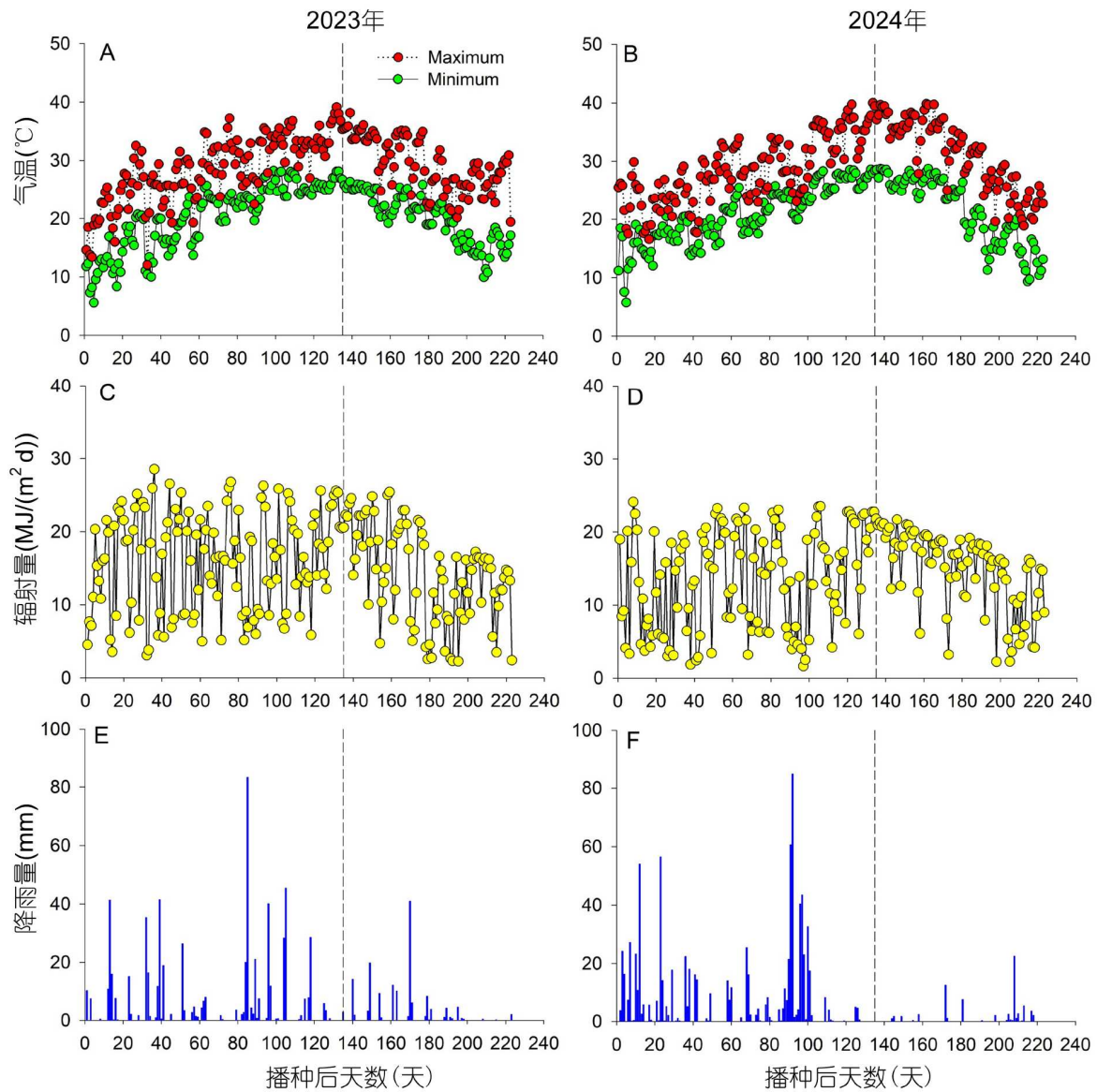


图 1 2023(A, C和E)和2024(B, D和F)年再生稻头季播种至再生季成熟期的气象数据(虚线代表头季收获期)
Figure 1 Meteorological data from sowing in the main season to the maturity in the ratoon season of 2023 (A, C, and E) and 2024 (B, D, and F) (the dashed line indicates the harvest date in the main season)

12.3~17.2和12.7~17.5 t/ha. 再生季产量低于头季, 不同品种再生季产量占头季产量的比例在2023和2024年分别为54.7%~89.0%和54.6%~89.9%. 其中, 4个候选绿色超级稻品种的周年产量分别为15.4~17.2(2023年)和16.0~17.5 t/ha(2024年), 显著高于2个对照品种, 增幅分别为4.1%~39.8%和15.9%~37.8%. 在头季, 4个候选绿色超级稻品种相比于黄华占增产7.8%~15.5%, 相比于两优6326增产幅度较小; 在再生季, 相较黄华占和两

优6326分别增产43.7%~76.1%和13.3%~38.9%, 均达显著水平. 不同的候选绿色超级稻品种的周年产量也存在差异. 玮两优8612在2023年的产量与隆两优8612相同(17.2 t/ha), 在2024年与甬优6711没有显著差异(17.2~17.5 t/ha), 但显著高于其他两个品种. 从周年高产稳产的角度看, 玮两优8612的周年产量和稳定性显著高于其他品种.

从产量构成因子分析, 不同品种间差异显著, 但年

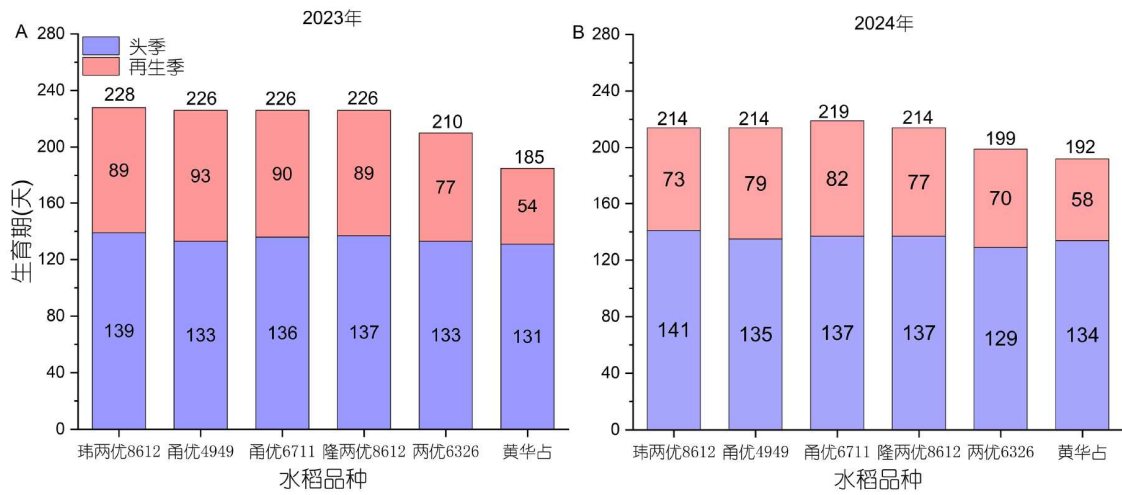


图 2 2023(A)和2024(B)年不同品种在头季、再生季和周年的生育期

Figure 2 Crop growth duration of different varieties in the main and ratoon seasons of 2023 (A) and 2024 (B)

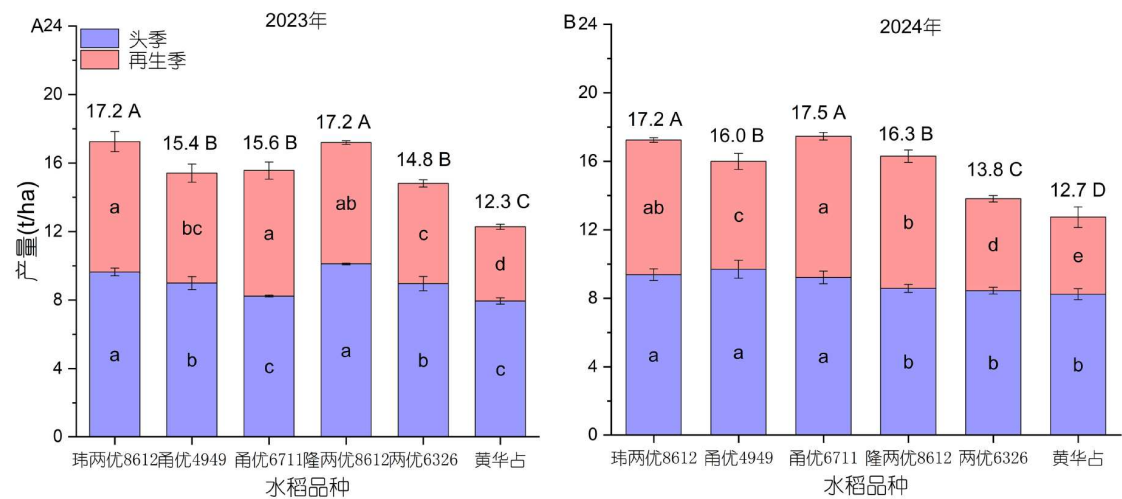


图 3 2023(A)和2024(B)年不同品种在头季和再生季的产量(不同小写字母表示在头季或再生季内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异, 数字代表周年产量, 不同大写字母表示不同品种周年产量间在0.05水平上具有显著的差异)

Figure 3 Grain yield of different varieties in the main and ratoon seasons of 2023 (A) and 2024 (B) (different lowercase letters indicate significant differences among varieties within the main or ratoon season at $P < 0.05$. The numbers represent the annual yield, with different uppercase letters indicating significant differences in annual yield among varieties at $P < 0.05$)

份无显著影响, 品种和年份仅对结实率有显著的交互作用(表2和3)。头季产量高于再生季主要是由于头季每穗颖花数相比于再生季平均增加96.7%, 进而使单位面积总颖花数增加23.6%, 且头季粒重相比再生季高5.1%。在头季生产中, 4个候选绿色超级稻品种相比于黄华占增产主要是由于每穗颖花数或粒重的增加。其中, 甬优4949和甬优6711的每穗颖花数较黄华占两年分别平均增加了47.4%和46.3%, 玮两优8612和隆两优8612的粒重相比于黄华占两年分别平均增加了

11.6%和12.1%。再生季4个绿色超级稻相比两优6326增产主要是由于每穗颖花数增加促进的单位面积颖花数的增加, 相比于黄华占增产主要是由于其较高的结实率和粒重。4个候选绿色超级稻品种间, 2023年和2024年的头季和再生季玮两优8612相比于甬优4949增产主要是由于粒重的增加, 而甬优6711和隆两优8612各产量构成因子在不同年份和生长季间没有一致的差异。再生力指的是再生季穗数与头季穗数的比值, 对再生季高产有重要意义。不同品种的再生力在2023和

表 2 2023和2024年头季不同品种的产量构成因子^{a)}

Table 2 Yield components of different varieties in the main season of 2023 and 2024^{a)}

年份	品种	单位面积穗数(/m ²)	每穗颖花数	单位面积颖花数(×10 ³ /m ²)	结实率(%)	粒重(mg)
2023	玮两优8612	242.7±3.1 ^{ab}	180.1±4.2 ^b	43.7±2.2 ^a	77.9±1.8 ^c	23.2±0.1 ^c
	甬优4949	187.5±2.1 ^c	236.4±3.9 ^a	44.3±4.3 ^a	84.6±0.5 ^{ab}	21.0±0.2 ^d
	甬优6711	184.5±17.8 ^c	226.0±26.0 ^a	41.2±1.3 ^a	72.7±1.7 ^d	24.9±0.4 ^b
	隆两优8612	255.2±28.1 ^{ab}	184.7±8.7 ^b	46.9±0.3 ^a	81.0±2.4 ^{bc}	23.3±0.4 ^c
	两优6326	226.1±21.9 ^b	147.1±9.3 ^c	33.4±0.2 ^b	87.0±4.5 ^a	26.5±0.7 ^a
	黄华占	261.5±24.0 ^a	162.9±8.0 ^{bc}	42.6±0.3 ^a	82.3±0.4 ^{bc}	20.9±0.2 ^d
2024	玮两优8612	299.0±5.3 ^a	152.9±3.0 ^b	45.7±4.5 ^c	76.2±0.5 ^{bc}	22.9±0.1 ^c
	甬优4949	220.8±10.4 ^c	237.7±3.2 ^a	52.4±0.5 ^a	80.6±1.2 ^a	20.5±0.2 ^d
	甬优6711	204.7±7.1 ^c	244.7±7.6 ^a	49.9±1.7 ^{ab}	67.8±1.0 ^{de}	24.8±0.3 ^b
	隆两优8612	276.1±12.6 ^{ab}	164.6±5.0 ^b	45.3±1.1 ^c	72.0±0.8 ^{cd}	23.0±0.1 ^c
	两优6326	252.6±3.4 ^b	161.2±3.9 ^b	40.8±0.7 ^d	64.1±2.2 ^e	26.0±0.4 ^a
	黄华占	295.8±6.4 ^a	159.7±2.3 ^b	47.3±0.9 ^{bc}	76.6±1.5 ^{ab}	20.4±0.1 ^d
ANOVA	年份(Y)	ns	ns	ns	ns	ns
	品种(V)	**	**	**	**	**
	Y×V	ns	ns	ns	*	ns

a) 不同小写字母表示同一年内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异. ns表示处理间差异不显著($P>0.05$); *和**分别表示处理间差异达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$). 表中数据为平均值±标准差

表 3 2023和2024年再生季不同品种的产量构成因子^{a)}

Table 3 Yield components of different varieties in the ratoon season of 2023 and 2024^{a)}

年份	品种	单位面积穗数(/m ²)	每穗颖花数	单位面积颖花数(×10 ³ /m ²)	结实率(%)	粒重(mg)
2023	玮两优8612	428.1±17.7 ^a	84.3±0.3 ^c	36.1±0.7 ^{ab}	80.1±1.8 ^b	22.9±0.3 ^c
	甬优4949	327.1±25.0 ^c	108.5±2.7 ^b	35.6±0.3 ^{ab}	88.7±0.8 ^a	20.6±0.1 ^d
	甬优6711	293.8±27.1 ^c	126.0±4.5 ^a	36.9±0.5 ^a	77.8±0.4 ^b	25.6±0.1 ^a
	隆两优8612	374.0±17.7 ^b	85.6±0.5 ^c	32.0±0.6 ^{bc}	86.7±1.3 ^a	23.1±0.1 ^c
	两优6326	405.2±19.8 ^{ab}	70.6±0.9 ^d	28.6±0.6 ^c	80.2±1.5 ^b	25.1±0.2 ^b
	黄华占	401.1±3.1 ^{ab}	87.6±4.6 ^c	35.1±0.6 ^{ab}	74.5±1.6 ^c	18.9±0.3 ^e
2024	玮两优8612	473.0±16.6 ^a	85.9±0.9 ^c	40.6±0.7 ^{ab}	86.9±0.4 ^a	21.1±0.1 ^d
	甬优4949	319.8±8.0 ^d	122.2±2.4 ^a	39.1±0.7 ^{ab}	85.3±1.1 ^{ab}	20.1±0.1 ^e
	甬优6711	331.3±10.7 ^{cd}	127.5±3.8 ^a	42.3±0.6 ^a	80.8±0.9 ^c	24.8±0.2 ^a
	隆两优8612	402.1±20.2 ^b	99.3±4.4 ^b	39.8±0.5 ^{ab}	83.0±0.5 ^{bc}	21.6±0.1 ^c
	两优6326	394.8±18.9 ^{bc}	74.7±2.2 ^d	29.4±0.7 ^c	71.2±2.0 ^d	22.8±0.1 ^b
	黄华占	478.1±36.3 ^a	76.0±2.8 ^d	36.1±0.6 ^b	70.1±0.6 ^d	17.1±0.1 ^f
ANOVA	年份(Y)	ns	ns	ns	ns	ns
	品种(V)	**	**	**	**	**
	Y×V	ns	ns	ns	*	ns

a) 不同小写字母表示同一年内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异. ns表示处理间差异不显著($P>0.05$); *和**分别表示处理间差异达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$). 表中数据为平均值±标准差

2024年分别为1.48~1.80和1.46~1.62。2023年两优6326的再生力高于其他品种，但与玮两优8612、甬优4949和甬优6711差异不显著；2024年各品种再生力无显著差异(图4)。

2.3 干物质积累与分配

年份和品种均对头季和再生季成熟期的总干物质积累量、收获指数以及花前和花后的干物质积累量有显著影响。除总干物质积累量之外，年份和品种的互作

效应对头季和再生季的其他三个指标有显著的影响(表4)。再生季的成熟期总干物质积累量在2023和2024年相比头季分别降低13.2%和8.8%，收获指数分别降

低8.3%和10.0%，这是再生季产量低于头季的重要原因。在头季，玮两优8612、隆两优8612和甬优6711的成熟期总干物质积累量较2个对照品种在2023和2024年

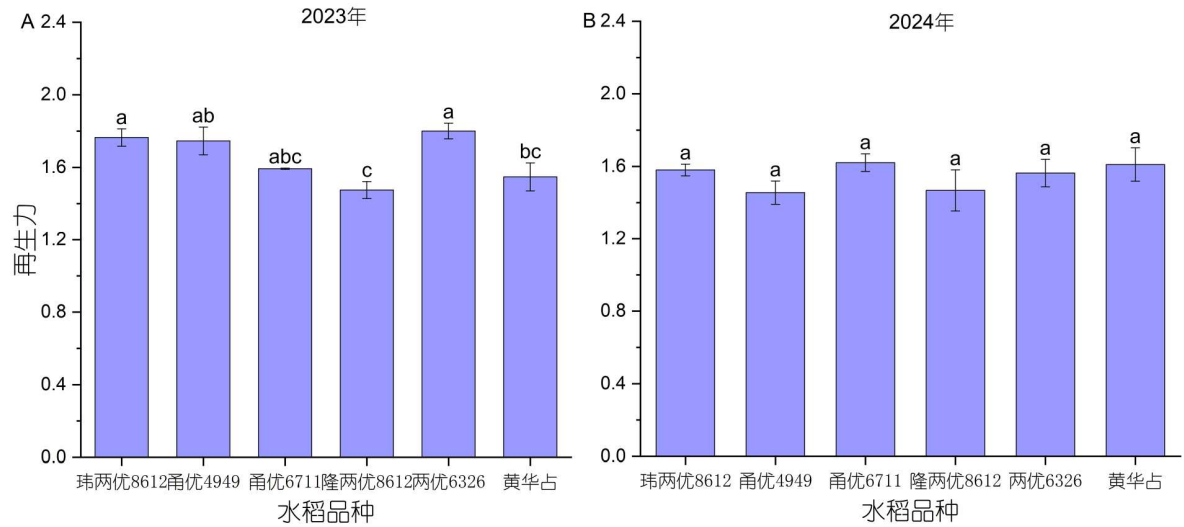


图 4 2023(A)和2024(B)年不同品种的再生力(不同小写字母表示同一生长季内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异)
Figure 4 Ratooning ability of different varieties of 2023 (A) and 2024 (B) (different lowercase letters indicate significant differences among varieties within each season at $P<0.05$)

表 4 2023和2024年头季和再生季的地上部干物质积累与分配^{a)}

Table 4 Aboveground biomass accumulation and translocation and harvest index in the main and ratoon seasons of 2023 and 2024^{a)}

年份	品种	头季				再生季			
		花前干物质 积累量(t/ha)	花后干物质 积累量(t/ha)	总干物质 积累量(t/ha)	收获指数 (%)	花前干物质 积累量(t/ha)	花后干物质 积累量(t/ha)	总干物质 积累量(t/ha)	收获指数 (%)
2023	玮两优8612	9.84±0.03 ^{ab}	7.47±0.24 ^a	17.31±0.21 ^a	45.6±1.0 ^{dc}	10.08±0.32 ^{ab}	5.04±0.33 ^a	15.11±0.78 ^b	43.8±1.0 ^{bc}
	甬优4949	9.12±0.81 ^{bc}	6.38±0.72 ^{ab}	15.50±0.09 ^b	50.7±1.3 ^{ab}	9.51±0.08 ^{bc}	4.90±0.74 ^a	14.41±0.97 ^{bc}	44.9±1.2 ^b
	甬优6711	10.01±0.35 ^a	7.44±0.03 ^a	17.45±0.31 ^a	42.9±3.2 ^c	11.15±1.20 ^a	5.67±1.35 ^a	16.82±0.71 ^a	43.7±0.4 ^{bc}
	隆两优8612	9.94±0.06 ^{ab}	8.09±1.14 ^a	18.04±1.07 ^a	48.9±0.8 ^{bc}	8.96±0.36 ^c	4.58±0.80 ^a	13.54±0.77 ^c	47.4±0.7 ^a
	两优6326	10.41±0.35 ^a	4.12±1.73 ^b	14.53±1.39 ^b	52.4±0.6 ^a	8.44±0.37 ^c	4.90±0.19 ^a	13.34±0.56 ^{cd}	43.0±0.4 ^c
	黄华占	8.63±0.71 ^c	6.91±1.77 ^a	15.54±1.05 ^b	47.0±0.4 ^{cd}	7.22±0.39 ^d	4.88±0.16 ^a	12.09±0.55 ^d	40.8±0.4 ^d
2024	玮两优8612	13.30±0.35 ^a	5.27±0.49 ^b	18.57±0.21 ^a	42.8±0.8 ^{bc}	11.42±0.45 ^a	5.70±0.63 ^b	17.12±0.50 ^b	43.4±0.3 ^a
	甬优4949	9.90±0.31 ^c	6.61±0.47 ^{ab}	16.51±0.70 ^b	52.4±0.7 ^a	9.16±0.21 ^b	5.90±0.64 ^b	15.06±0.64 ^c	44.5±0.8 ^a
	甬优6711	11.13±0.41 ^b	8.08±0.63 ^a	19.21±0.34 ^a	43.8±1.0 ^{bc}	10.92±0.41 ^a	8.61±0.87 ^a	19.53±0.57 ^a	43.2±0.1 ^a
	隆两优8612	12.89±0.61 ^a	5.10±0.65 ^b	17.99±0.43 ^a	41.6±0.8 ^c	10.97±0.23 ^a	5.39±0.77 ^{bc}	16.36±0.55 ^{bc}	43.5±0.8 ^a
	两优6326	9.83±0.19 ^c	6.17±0.34 ^b	16.00±0.23 ^b	42.4±1.2 ^{bc}	9.09±0.48 ^b	5.86±1.11 ^b	14.95±0.67 ^c	31.9±1.2 ^b
	黄华占	10.34±0.28 ^{bc}	6.01±0.23 ^b	16.35±0.36 ^b	45.1±1.1 ^b	9.21±0.44 ^b	3.16±0.23 ^c	12.37±0.50 ^d	34.8±0.4 ^b
年份(Y)		*	*	*	*	*	*	*	**
ANOVA 品种(V)		**	**	**	**	**	**	**	**
Y×V		*	*	ns	**	*	*	ns	*

a) 不同小写字母表示同一年内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异。ns表示处理间差异不显著($P>0.05$); *和**分别表示处理间差异达显著($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。表中数据为平均值±标准差

分别显著提高10.1%~20.0%和11.4%~24.1%; 甬优4949的总干物质积累量与2个对照品种相比差异较小, 但其收获指数较对照品种平均增加10.3%。成熟期总干物质积累量的增加主要来自花前阶段, 而花后积累差异较小。候选绿色超级稻品种间, 高产品种的头季成熟期总干物质积累量在两年均高于其他品种, 而收获指数差异较小。在再生季中, 4个候选绿色超级稻品种的成熟期的总干物质积累量和收获指数在两年中均高于2个对照品种, 平均增幅分别为26.4%和15.7%。与头季相同, 再生季成熟期干物质积累量的增加主要由于花前干物质积累量的提升。在不同候选绿色超级稻品种间, 甬优6711在两年再生季的成熟期地上部干物质积累量均最高, 但其收获指数略低于其他候选绿色超级稻品种, 其较高的成熟期地上部干物质积累量主要是由于花后干物质积累量的提高。

2.4 氮素吸收与利用效率

年份和品种均对头季和再生季的总吸氮量、氮素收获指数和氮素籽粒生产效率有显著影响, 年份和品

种的交互效应对头季氮素收获指数、再生季氮素收获指数和氮素籽粒生产效率均有显著影响(表5)。2023年各品种头季和再生季的总吸氮量分别为137.5~179.8和112.2~145.8 kg/ha, 2024年分别为170.6~212.1和132.3~171.1 kg/ha。平均来看, 再生季总吸氮量在两年分别占头季的83.2%和80.8%。两年头季的氮素收获指数差异较小, 平均分别为57.7%和52.6%; 但再生季的氮素收获指数在2024年相比2023年增加9.4%。氮素籽粒生产效率与氮素收获指数表现相似, 头季没有显著差异, 但再生季在2024年相比2023年提高27.7%。在头季, 候选绿色超级稻品种玮两优8612、甬优6711和隆两优8612的总吸氮量在两年中均高于2个对照品种, 增幅分别为2.3%~30.8%和10.6%~24.3%, 而氮素收获指数和氮素籽粒生产效率差异较小; 甬优4949相比2个对照品种的总吸氮量无显著差异, 但其氮素收获指数和氮素籽粒生产效率均高于对照品种, 且在两年间表现稳定, 相比对照品种分别增加10.2%和10.8%。在再生季, 4个候选绿色超级稻品种的总吸氮量、氮素收获指数和氮素籽粒生产效率均高于2个对照品种,

表 5 2023年和2024年头季和再生季不同品种的氮素积累与利用效率^{a)}
Table 5 Nitrogen uptake and nitrogen use efficiency of different varieties in the main and ratoon seasons in 2023 and 2024^{a)}

年份	品种	头季			再生季		
		总吸氮量 (kg/ha)	氮素收获指数 (%)	氮素籽粒生产效率 (kg/kg)	总吸氮量 (kg/ha)	氮素收获指数 (%)	氮素籽粒生产效率 (kg/kg)
2023	玮两优8612	179.8±0.2 ^a	53.9±2.2 ^d	43.9±1.6 ^b	140.3±2.3 ^{ab}	54.9±0.8 ^b	47.1±0.6 ^b
	甬优4949	147.4±8.0 ^{bc}	62.8±2.4 ^{ab}	53.6±3.9 ^a	138.3±13.6 ^{ab}	58.6±0.2 ^a	46.9±0.2 ^b
	甬优6711	155.2±16 ^b	47.5±4.8 ^e	49.0±7.8 ^{ab}	145.8±0.7 ^a	53.5±1.6 ^c	50.4±2.4 ^a
	隆两优8612	176.2±5.3 ^a	59.0±1.1 ^{bc}	50.1±2.3 ^{ab}	126.1±5.8 ^{bc}	59.1±1.5 ^a	50.9±1.4 ^a
	两优6326	151.8±12.9 ^{bc}	67.1±0.8 ^a	50.1±0.1 ^{ab}	126.2±8.0 ^{bc}	51.5±1.7 ^d	45.6±0.6 ^{bc}
	黄华占	137.5±6.6 ^c	56.1±2.0 ^{cd}	53.1±1.5 ^a	112.2±5.9 ^c	53.9±0.9 ^{bc}	44.0±0.7 ^c
2024	玮两优8612	199.2±6.0 ^{ab}	48.4±1.2 ^b	46.5±1.2 ^{bc}	171.1±6.7 ^a	64.1±0.4 ^a	60.9±1.2 ^b
	甬优4949	170.7±5.6 ^d	61.5±1.3 ^a	58.9±1.0 ^a	138.0±9.1 ^b	64.0±0.9 ^a	68.6±2.1 ^{ab}
	甬优6711	212.1±9.3 ^a	52.6±1.8 ^b	46.3±2.1 ^{bc}	170.0±12.4 ^a	64.2±0.5 ^a	71.2±1.9 ^a
	隆两优8612	188.8±10.2 ^{bc}	50.1±1.2 ^b	46.4±2.1 ^{bc}	153.9±16.5 ^{ab}	66.3±0.5 ^a	67.3±6.9 ^{ab}
	两优6326	177.3±5.1 ^{cd}	50.8±1.5 ^b	44.6±1.5 ^c	138.9±7.0 ^b	53.1±1.6 ^b	48.1±1.4 ^c
	黄华占	170.6±6.9 ^d	52.0±1.0 ^b	50.3±0.5 ^b	132.3±9.3 ^b	54.5±0.7 ^b	47.9±1.1 ^c
ANOVA	年份(Y)	*	*	ns	*	*	*
	品种(V)	**	**	**	**	**	**
	Y×V	ns	**	ns	ns	**	*

a) 不同小写字母表示同一年内不同品种间在0.05水平上具有显著的差异。ns表示处理间差异不显著(P>0.05); *和**分别表示处理间差异达显著(P<0.05)和极显著水平(P<0.01)。表中数据为平均值±标准差

但4个候选绿色超级稻品种间的氮素收获指数和氮素籽粒生产效率差异较小,且在两年表现一致。

3 讨论

适宜的生育期是保障再生稻头季和再生季高产和稳产的重要品种性状。华中地区温光资源丰富,适宜再生稻生长的天数为210 d左右^[1]。本研究选用的候选绿色超级稻品种的周年生育期为214~228 d,在移栽条件下均能够满足再生稻的安全生产要求。但在采用直播方式时,仍需关注再生季低温冷害的风险。候选绿色超级稻品种在2024年的生育期较2023年短10 d左右,主要由于2024年再生季降雨天数较少、日均辐射量较高,加快了生育进程。在资源投入较低的条件下实现高产稳产,是绿色超级稻的重要优势^[8,14]。本研究中,头季和再生季氮肥用量均为常规氮肥用量的50%,在该条件下,候选绿色超级稻品种的周年产量在两年均超过15.0 t/ha,相比于生产对照品种增产17.1%~28.4% (2.2~4.8 t/ha)。其中,玮两优8612在两年的周年产量均超过了17.0 t/ha,比当地中稻和双季稻周年产量分别高70.0%和13.3%^[13,17]。这一产量水平与以往研究中的非绿色超级稻品种在常规施氮条件下的13.2~17.9 t/ha相当^[18],这表明选用高产绿色超级稻品种是降低氮素投入并保证再生稻高产稳产的有效途径之一。本研究中,候选绿色超级稻高产的原因之一是其生育期较长,有利于充分利用温光资源,而对照品种黄华占生育期较短,尤其是再生季生育期仅有54~58 d,温光资源利用效率较低^[19]。这表明选用绿色超级稻品种是促进华中地区再生稻高产稳产的有效途径。

单位面积颖花数、粒重和结实率是构成水稻产量的重要因子,其中单位面积颖花数由单位面积穗数和每穗颖花数共同决定。已有研究指出,中稻生产中通过增加每穗颖花数可显著提高单位面积颖花数,是超级杂交稻实现高产的关键^[14]。本研究中,头季单位面积穗数为184.5~299.0/m²,而再生季穗数普遍超过300/m²,表明再生季穗数显著高于头季。再生季植株由头季收获后稻桩上腋芽萌发形成。通常每根有效茎秆上具多个腋芽,随着生育进程推进及光照、温度与养分竞争的加剧,部分腋芽逐渐凋亡,仅有少数得以萌发、生长为再生蘖,并最终发育为再生季的有效穗^[1,2]。较高的穗数可在一定程度上弥补再生季干物质

积累不足所导致的单穗粒数或粒重下降,从而成为维持再生季产量的重要补偿机制。腋芽的存活与利用特性受品种及栽培环境条件影响较大,通常以再生力(再生季穗数与头季穗数之比)进行表征^[2,5]。候选绿色超级稻品种的再生力均超过1.4,且品种间差异较小,说明这些品种具有较强的再生能力,是实现再生季高产的关键因素之一。同时,通过提高单位面积颖花数或者增加粒重能够提升库容量进而提高水稻产量^[14],这与本研究中再生稻头季产量形成规律一致。在该研究条件下,玮两优8612和隆两优8612头季高产主要是由于单位面积颖花数显著高于对照品种两优6326,粒重显著高于黄华占。在本研究中,较高的每穗颖花数和粒重是候选绿色超级稻品种再生季产量提升的重要原因。与穗粒数和结实率相比,粒重的遗传力较高,但在头季与再生季之间表现出较大差异。与前人研究结果一致,再生季各品种粒重均低于头季^[17],这主要是由于再生季干物质积累减少以及孕穗后期温度过高。干物质积累不足降低了籽粒灌浆强度和充实度,从而导致粒重下降。在本研究中,再生季孕穗后期平均温度为29.3℃,较头季(28.0℃)高1.3℃,而孕穗后期对环境反应十分敏感,高温胁迫导致颖花发育迟缓和谷粒容积减小^[20]。同样地,2024年再生季孕穗后期平均温度(30.0℃)和最高温度(36.4℃)分别较2023年高1.4和2.0℃,导致24年各品种粒重整体降低。不同品种对温度的敏感性存在差异,其中隆两优8612、两优6326和黄华占等籽粒长宽比较大的品种(3.1~3.3)受温度影响更显著,再生季粒重下降幅度较大。籼粳杂交稻品种甬优6711和甬优4949在生产上具有产量高、米质优和抗逆性强的特性,其再生季每穗颖花数超过了100,且再生芽的着生位置较低,有利于形成大穗^[14,18,21]。Yang等人^[18]针对不同品种的研究表明,大穗是确保再生稻头季和再生季高产的关键因素。尽管本研究头季和再生季施氮量仅为以往试验的一半,但产量水平相近^[18,22],这也进一步表明候选绿色超级稻品种的大穗性状在低氮水平下实现高产的潜力。

从干物质积累和转运的角度看,较高的干物质积累量是候选绿色超级稻品种高产的重要物质基础。在头季施氮量为90 kg N/ha的条件下,4个候选绿色超级稻品种头季干物质积累量为15.0~19.2 t/ha,已接近其作为中稻在180 kg N/ha下的干物质积累量,反映出其强大的物质生产能力^[13,14]。候选绿色超级稻品种较大

的单叶面积是头季获得较高干物质积累的重要性状^[7]。同时, 这些品种灌浆期叶片衰老延缓有利于提高花后叶片的光合速率, 有利于促进营养物质向籽粒的转运。充足的营养物质供应也减少了灌浆后期籽粒与再生芽之间的养分竞争, 能够保证再生季形成充足穗数。由于温光资源的限制, 再生季生育期普遍较短。在此条件下, 候选绿色超级稻品种相较对照品种表现出更高的叶面积指数和较长的叶面积维持期, 从而增强了光照拦截和利用效率, 促进了花前和花后干物质积累, 为籽粒灌浆提供了充足的同化物^[7,13]。同时, 这些品种在再生季具有更高的氮素积累水平, 有助于维持较高的结实率并最终实现再生季产量的提升^[23]。

绿色超级稻相比于普通杂交稻具有肥料高效利用的特点^[8,10]。在本试验节省一半氮肥投入的条件下, 候选绿色超级稻品种获得了与常规施氮量相当的产量, 显示出其在保障再生稻周年高产稳产的同时具有显著的减氮潜力, 进而降低了对环境的负面影响。前人针对中稻的研究表明, 绿色超级稻中硝酸盐转运蛋白 OsNPF6.1 能显著增强硝酸盐的吸收能力, 从而提高植株的氮素吸收和利用^[8]。在再生稻中, 进一步挖掘和利用此类绿色性状基因, 对于阐明绿色超级稻品种提高氮吸收与利用效率的生理、生化和分子机制具有重要意义, 也可为其在再生稻生产中的应用推广提供理论支撑。本研究中, 不同品种间氮素吸收及利用效率存在显著差异。在相同的土壤肥力条件下, 候选绿色超级稻品种的头季与再生季的氮素吸收量均高于对照品种两优6326和黄华占, 再生季氮素收获指数和氮素籽粒生产效率也更高, 说明其具有更强的氮素吸收能力, 可能与其更发达的根系和更强的根系活力有关^[7]。以

往研究表明, 氮肥投入量与产量之间并非线性关系, 过量施氮易导致边际效益递减^[24]。另一方面, 候选绿色超级稻品种在低氮水平下实现高产可能与其较低的氮临界浓度和更强的氮素利用能力有关。研究表明, 绿色超级稻品种在低氮水平下能通过调控光合作用相关基因的表达, 提高光合速率和干物质积累, 从而实现高产^[11]。此外, 较高的吸氮量和干物质积累量提高了稻桩的养分含量, 为再生芽的萌发和生长提供了保障, 这是本研究在不施促芽肥条件下再生季仍然能够获得高产的重要原因。同时, 绿色超级稻在低氮水平下种植有助于进一步提升再生稻的稻米品质^[25,26], 更好满足消费者对优质稻米的需求。

4 结论

在再生稻种植模式中应用候选绿色超级稻品种, 能够在低氮水平下实现周年高产稳产, 并显著提高氮素利用效率。试验结果表明, 候选绿色超级稻品种玮两优8612、隆两优8612、甬优4949和甬优6711的周年产量达到15.4~17.5 t/ha, 较对照品种增产9.7%~37.8%。较高的每穗颖花数形成的大穗是候选绿色超级稻品种两季高产的关键农艺性状。头季高产主要归因于成熟期较高的总干物质积累量, 再生季高产主要归因于总干物质积累量和收获指数的共同提高。在低氮条件下, 候选绿色超级稻在头季和再生季均保持较高的总氮吸收量、氮素收获指数和氮素籽粒生产效率, 表现出较优的氮素吸收与利用能力。因此, 将候选绿色超级稻品种用于再生稻种植, 可以在降低氮肥投入的同时, 实现头季和再生季产量和氮素利用效率的协同提升。

参考文献

- 1 Peng S B, Zheng C, Yu X. Progress and challenges of rice ratooning technology in China. *Crop Environ*, 2023, 2: 5–11
- 2 Xu F X, Zhang L, Zhou X B, et al. The ratoon rice system with high yield and high efficiency in China: progress, trend of theory and technology. *Field Crops Res*, 2021, 272: 108282
- 3 Wang F, Huang J L, Peng S B. Research and development of mechanized rice ratooning technology in China (in Chinese). *China Rice*, 2021, 27: 1–6 [王飞, 黄见良, 彭少兵. 机收再生稻丰产优质高效栽培技术研究进展. *中国稻米*, 2021, 27: 1–6]
- 4 Zhou Y J, Ji Y L, Li Z, et al. Yield loss of a rice ratoon crop is affected by nitrogen supply in a mechanized ratooning system. *Food Energy Secur*, 2025, 14: e70041
- 5 Lan C, Zou J, Xu H, et al. Enhanced strategies for water and fertilizer management to optimize yields and promote environmental sustainability in the mechanized harvesting of ratoon rice in Southeast China. *Agric Water Manage*, 2024, 302: 108956
- 6 Yu X, Guo Y, Yang G, et al. Nitrogen response of regenerated tillers varied among node positions in ratoon rice. *Field Crops Res*, 2022, 289:

108717

- 7 Xu Y D, Zhu K Y, Zhang X C, et al. Analysis in agronomic and physiological traits of Green Super Rice (in Chinese). *Acta Agronom Sin*, 2019, 45: 70–80 [许阳东, 朱宽宇, 章星传, 等. 绿色超级稻品种的农艺与生理性状分析. 作物学报, 2019, 45: 70–80]
- 8 Zhang H B, Wu Y N, Mo Y F, et al. Progress and prospects of Green Super Rice (in Chinese). *J Huazhong Agric Univ*, 2022, 41: 28–39 [张浩博, 吴伊宁, 莫伊凡, 等. 绿色超级稻的研究进展与展望. 华中农业大学学报, 2022, 41: 28–39]
- 9 Mo Y F, Wu Y N, Yu S B. Breeding of Green Super Rice and its perspectives (in Chinese). *China Rice*, 2022, 28: 7–13 [莫伊凡, 吴伊宁, 余四斌. 绿色超级稻品种培育及其发展. 中国稻米, 2022, 28: 7–13]
- 10 Zhang Q F. Strategies for developing Green Super Rice (in Chinese). *Mol Plant Breed*, 2005, 5: 601–602 [张启发. 绿色超级稻培育的设想. 分子植物育种, 2005, 5: 601–602]
- 11 Yu S, Ali J, Zhou S, et al. From Green Super Rice to green agriculture: reaping the promise of functional genomics research. *Mol Plant*, 2022, 15: 9–26
- 12 Zhao H B, Peng Y L, Yang Y L, et al. From germplasm innovation to plant type optimization: three decades of breeding practice and enlightenment of super rice in China (in Chinese). *Sci Sin Vitae*, 2025, 55: 1661–1675 [赵慧博, 彭友林, 杨宇琛, 等. 从种质创新到株型优化: 中国超级稻三十年育种实践与启示. 中国科学: 生命科学, 2025, 55: 1661–1675]
- 13 Huang L Y, Sun F, Yuan S, et al. Responses of candidate Green Super Rice and super hybrid rice varieties to simplified and reduced input practice. *Field Crops Res*, 2018, 218: 78–87
- 14 Cui S Y. Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of candidate Green Super Rice varieties (in Chinese). Dissertation for Master's Degree. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2023 [崔思宇. 候选绿色超级稻品种产量与氮素利用效率评价. 硕士学位论文. 武汉: 华中农业大学, 2023]
- 15 Zafar S A, Arif M H, Uzair M, et al. Agronomic and physiological indices for reproductive stage heat stress tolerance in Green Super Rice. *Agronomy*, 2022, 12: 1907
- 16 Zhang Y S, Zheng H B, Jia W, et al. Response to N fertilizer reduction of candidate double-cropping Green Super Rice varieties in grain yield and nitrogen use efficiency (in Chinese). *Hybrid Rice*, 2018, 33: 36–41 [张炎胜, 郑华斌, 贾巍, 等. 候选绿色超级双季稻产量与氮肥利用效率对N肥减量的响应. 杂交水稻, 2018, 33: 36–41]
- 17 Yang G C, Xiang H S, Fu Y F, et al. Optimal nitrogen management increases nitrogen use efficiency of direct-seeded double-season rice using ultrashort-duration cultivars. *Field Crops Res*, 2024, 316: 109495
- 18 Yang C, Yang D S, Xiang H S, et al. Varietal improvement is a feasible approach for achieving high yield and superior quality simultaneously in ratoon rice. *Field Crops Res*, 2025, 322: 109772
- 19 Zheng H B, Tang Q Y, Chen F B. Inspiration from the promotion of Green Super Rice variety Huanghuazhan in Hunan Province (in Chinese). *Crop Res*, 2019, 33: 44–46+58 [郑华斌, 唐启源, 陈风波. 绿色超级稻品种黄华占在湖南推广的启示. 作物研究, 2019, 33: 44–46+58]
- 20 Ji P, Liu J L, Liu H, et al. Effects of heat stress on yield components and quality in different rice varieties during heading stage (in Chinese). *Crops*, 2024, 1: 117–125 [季平, 刘金龙, 刘浩, 等. 抽穗期高温胁迫对不同水稻品种产量构成和品质的影响. 作物杂志, 2024, 1: 117–125]
- 21 Wang F, Peng S B. Yield potential and nitrogen use efficiency of China's super rice. *J Integr Agr*, 2017, 16: 1000–1008
- 22 Yang C, Zheng C, Yuan S, et al. Effect of fertilizer management on the yield and quality of different rice varieties in ratoon rice (in Chinese). *Chin J Rice Sci*, 2022, 36: 65–76 [杨晨, 郑常, 袁坤, 等. 再生稻肥料管理对不同品种产量和品质的影响. 中国水稻科学, 2022, 36: 65–76]
- 23 He A B, Wang W Q, Jiang G L, et al. Source-sink regulation and its effects on the regeneration ability of ratoon rice. *Field Crops Res*, 2019, 236: 155–164
- 24 Lin W X, Wen P Y, Lin W F, et al. Research status and prospect of ratoon rice in China under mechanically harvested condition (in Chinese). *Chin J Appl Ecol*, 2024, 35: 827–836 [林文雄, 翁佩莹, 林文芳, 等. 中国机收再生稻研究现状与展望. 应用生态学报, 2024, 35: 827–836]
- 25 Zhang Q, Ali J, Bouis H, et al. Developing green nutritious super rice for a healthy Anthropocene. *Sci Bull*, 2025, 70: 2916–2920
- 26 Ma Y H, Zhou C, Zhu L F, et al. Effects of key cultivation measures on the formation of grain yield and quality and growth characteristics of high-quality super rice (in Chinese). *Chin J Rice Sci*, 2025, 9: 1–22 [马义虎, 周翠, 朱练峰, 等. 关键栽培措施对优质超级稻产量、品质形成及生育特性的影响. 中国水稻科学, 2025, 9: 1–22]

The yield and nitrogen use efficiency of Green Super Rice varieties in ratoon rice system

YANG GuoDong¹, YANG ShanShan¹, ZHANG XinChen¹, CHEN XinRui¹, WANG YuCheng¹,
YU Xing¹, WANG Bin², XIONG DongLiang¹, PENG ShaoBing¹ & YUAN Shen^{1*}

¹ College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, MARA Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in the Middle Reaches of the Yangtze River, Hubei Hongshan laboratory, National Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Wuhan 430070, China

² Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

* Corresponding author, E-mail: syuan@mail.hzau.edu.cn

Enhancing nitrogen (N) use efficiency and reducing N fertilizer input are crucial for promoting the green and efficient development of ratoon rice. Green Super Rice (GSR) is characterized by their superior ability to utilize N efficiently, enabling high productivity with lower fertilizer inputs. However, their yield, yield formation, and N utilization patterns under the ratoon rice system remain unclear. This study was conducted in Qichun, Hubei Province, during 2023 and 2024 to systematically evaluate four candidate GSR varieties and two check varieties under an N fertilizer rate of 90 kg N/ha for main season and 75 kg N/ha for ratoon season (equivalent to 50% of conventional rate). Results showed that the candidate GSR varieties (Weiliangyou8612, Longliangyou8612, Yongyou4949, and Yongyou6711) achieved annual yields of 15.7–17.2 t/ha in 2023 and 16.0–17.5 t/ha in 2024, representing yield increases of 9.7%–37.8% and 15.9%–37.8% over the check varieties (Liangyou6326 and Huanghuazhan). Higher spikelet number per panicle, greater total dry matter accumulation, and higher harvest index were key agronomic traits contributing to the high yield of the candidate GSR varieties. Compared with the check varieties, total N uptake of the candidate varieties increased by 12.3% in the main season and 16.1% in the ratoon season, while their N harvest index and N use efficiency for grain production in the ratoon crop increased by 13.7% and 24.8%, respectively, indicating an enhanced N absorption and utilization under low-N conditions. In summary, the use of GSR varieties in ratoon rice production can achieve both high yield and high N use efficiency under reduced N fertilizer input, offering a promising pathway toward sustainable and resource-efficient rice cultivation.

Green Super Rice, ratoon rice, yield, nitrogen use efficiency

doi: [10.1360/SSV-2025-0258](https://doi.org/10.1360/SSV-2025-0258)