

网络出版时间:2025-04-15

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.s.20250411.1037.002

不同轮作模式下氮肥运筹对成都平原 冬小麦生长特性及产量的效应

贺大海,梁振宇,陈佳博,祝婷婷,李俊积,马宏亮,杨洪坤,黄秀兰,樊高琼,郑亭

(四川农业大学农学院农业农村部西南作物生理生态与耕作重点实验室,四川成都 611130)

摘要:为探究适宜成都平原地区小麦-水稻轮作(稻茬)和小麦-大豆轮作(旱地)下小麦适宜的氮肥运筹模式,以蜀麦 1963 为材料,大田设置 150(N_1)、200 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N_2) 共 2 个施氮量,设置底肥:苗肥:拔节肥为 10:0:0(R_1)、6:4:0(R_2)、6:0:4(R_3)、6:2:2(R_4) 共 4 个氮肥基追比,以不施氮肥为对照(CK),分析不同氮肥运筹模式对稻茬麦和旱地麦苗期的群体质量、干物质积累与转运及产量的影响。结果表明,与旱地麦相比,稻茬麦苗期和拔节期的株高、顶部叶片叶绿素含量、叶面积指数、有效穗数(11.6%~37.2%)和产量(14.4%~45.5%)均显著降低。相较于 N_1 、 N_2 提高了两种轮作模式下小麦苗期和拔节期顶部叶片叶绿素含量、叶面积指数、各生育阶段干物质积累量及产量,且稻茬麦比旱地麦提升幅度更大; N_2 条件下稻茬麦产量显著提高(7.8%),旱地麦产量提高 2.5%。 R_2 和 R_4 较 R_3 和 R_1 显著提高了稻茬麦产量, R_3 和 R_4 较 R_2 、 R_1 显著提高旱地麦产量。相同施氮量下, R_2 和 R_4 可缩小稻茬麦和旱地麦因渍水导致的拔节期群体质量差距。稻茬条件下, R_2 显著提高了小麦花前干物质转运量、转运率及其对籽粒贡献率;旱地条件下, R_3 和 R_4 显著提高小麦花后干物质积累量。综合来看,成都平原地区稻茬麦适合在 200 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施氮量下采用底肥:苗肥=6:4 和底肥:苗肥:拔节期=6:2:2 的氮肥运筹模式,而旱地麦则更适合在 150 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 施氮量下采用底肥:拔节肥=6:4 和底肥:苗肥:拔节期=6:2:2 的氮肥运筹模式。

关键词: 氮肥运筹;轮作模式;渍害;群体质量;产量

中图分类号:S512.1;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)05-0630-12

Regulation of Nitrogen Fertilizer Application on Growth Characteristics and Yield of Winter Wheat under Different Rotation Patterns in Chengdu Plain

HE Dahai, LIANG Zhenyu, CHEN Jiabo, ZHU Tingting, LI Junji, MA Hongliang,
YANG Hongkun, HUANG Xiulan, FAN Gaoqiong, ZHENG Ting

(Agricultural College of Sichuan Agricultural University, Southwest Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: In order to explore the suitable nitrogen fertilizer management mode for wheat under wheat-rice rotation mode (rice stubble) and wheat-soybean rotation mode (dry land) in Chengdu Plain, Shumai 1963 was used as the material. Two nitrogen fertilizer application rates of 150 (N_1) and 200 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N_2) were set up in the field, and four nitrogen application ratios were conducted: seedling fertilizer: jointing fertilizer = 10:0:0 (R_1), 6:4:0 (R_2), 6:0:4 (R_3), 6:2:2 (R_4), with no nitrogen fertilizer as the control (CK). The effects of different nitrogen fertilizer management modes on population quality, dry matter accumulation and translocation, and wheat yield in rice stubble and dryland wheat at the seedling stage were analyzed. The results showed that the waterlogging of wheat after rice was serious 30 days after sowing. Compared with dryland wheat, the plant height, chlorophyll content, and

收稿日期:2024-03-18

修回日期:2024-04-17

基金项目:四川省十四五重点研发项目(2021YFYZ0002)

第一作者 E-mail:847425123@qq.com(贺大海)

通讯作者 E-mail:fangao20056@126.com(樊高琼);tingzheng521@hotmail.com(郑亭)

leaf area index of top leaves of rice-stubble wheat at the seedling stage and jointing stage were significantly reduced, the number of effective panicles was significantly reduced by 11.6%–37.2%, and the yield was significantly reduced by 14.4%–45.5%. Compared with N_1 , N_2 increased the chlorophyll content and leaf area index of top leaves, dry matter accumulation, and yield at the seedling stage and jointing stage of wheat under two rotation modes, and the increase of wheat after rice was greater than that of wheat in dry land. Under N_2 , the yield of rice-stubble wheat was significantly increased by 7.8%, and the yield of wheat in dry land was increased by 2.5%. Topdressing at the seedling stage (R_2) and split topdressing at the seedling + jointing stage (R_4) significantly increased the yield of wheat after rice compared with R_3 and R_1 . Topdressing at the jointing stage (R_3) and split topdressing at seedling + jointing stage significantly increased the yield of dryland wheat compared with R_2 and R_1 . Under the same nitrogen application rate, topdressing at the seedling stage (R_2) and topdressing at the seedling + jointing stage (R_4) significantly reduced the yield of rice-stubble wheat and dryland wheat at jointing stage. Under the conditions of rice stubble, topdressing at the seedling stage (R_2) significantly increased the dry matter translocation amount, translocation rate, and contribution rate to grain before anthesis. Under dryland conditions, topdressing at the jointing stage (R_3) and the seedling + jointing stage (R_4) significantly increased dry matter accumulation after anthesis. On the whole, the nitrogen application modes of base fertilizer: seedling fertilizer = 6:4 and base fertilizer: seedling stage: jointing stage = 6:2:2 are suitable for rice-stubble wheat in Chengdu Plain under 200 kg · hm⁻² nitrogen application rate, while the nitrogen application mode of base fertilizer: jointing fertilizer = 6:4 and base fertilizer: seedling stage: jointing stage = 6:2:2 are more suitable for dryland wheat under 150 kg · hm⁻² nitrogen application rate.

Keywords: Nitrogen fertilizer management; Rotation mode; Waterlogging stress; Population quality; Yield

小麦是中国主要粮食作物之一,提高其产量对保障国家粮食安全具有重大意义^[1]。成都平原为四川省小麦高产区,其小麦种植包括稻茬(冬小麦-水稻轮作)和旱地(冬小麦-大豆、冬小麦-夏玉米轮作等)模式^[2];与旱地种植模式相比,冬小麦-水稻模式周年效益高^[3],是该地区小麦主要种植模式。在实际生产中,成都平原小麦生产易受降水影响,区域降水分布表现为夏秋多、春冬稀少^[4-5]。在气候变化背景下,近年来该区域秋雨连绵,稻茬麦播种至苗期阶段常遭遇渍害,苗期群体质量较差;旱地麦播种时土壤含水量适宜,小麦出苗整齐,苗期群体质量高,但在生长中后期易遭遇干旱胁迫而影响产量^[3,6]。

作物高产离不开氮肥的合理施用^[7-8]。冬小麦氮素吸收的两个高峰期分别是分蘖期、拔节至开花期^[9]。一定范围内合理施氮能够增加小麦产量^[10],过量施氮不但不能增加产量,还会造成资源浪费、环境污染等一系列问题^[11-13]。因此,氮肥运筹对小麦高效生产至关重要。关于氮肥运筹对小麦产量效应已有大量研究,但大多是基于单一轮作模式下氮肥运筹对小麦生产及氮效率的影

响^[14-15]。在成都平原地区,稻茬麦和旱地麦生育期间土壤墒情差异大,与之匹配的氮肥运筹模式有待进一步明确。基于此,本试验以成都平原同一区域内的稻茬(小麦-水稻)和旱地(小麦-大豆)小麦为对象,研究不同施氮量和基追比对小麦生长及产量的影响,以期为该区域稻茬麦和旱地麦高产高效栽培提供理论和技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验地基本情况

试验于2022–2023年在成都市大邑县现代粮食产业园区(30°58′N,103°53′E)进行。试验地属亚热带湿润季风气候区,小麦生长季降水量303 mm,日均温度13.5℃。

试验地土壤基础理化特性见表1。以连续10 d土壤相对含水量大于等于90%作为渍害的标准^[16],以土壤相对含水量低于60%作为干旱的标准^[17]。本试验中,稻茬麦播种至播种后30 d遭遇渍水;旱地麦无渍水发生,但在播后120 d(孕穗期)遭遇轻度干旱胁迫,整个生育期稻茬麦田土壤相对含水量高于旱地,具体土壤相对含水量见图1。

表 1 土壤理化特性

Table 1 Physical and chemical properties of soil

轮作模式 Rotation mode	有机质 Organic matter/ (g · kg ⁻¹)	碱解氮 Alkaline nitrogen/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷 Available potassium/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾 Available phosphorus/ (mg · kg ⁻¹)
旱地 Dryland	25.34	15.24	26.99	181.73
稻茬 Rice stubble field	38.91	19.26	17.24	249.63

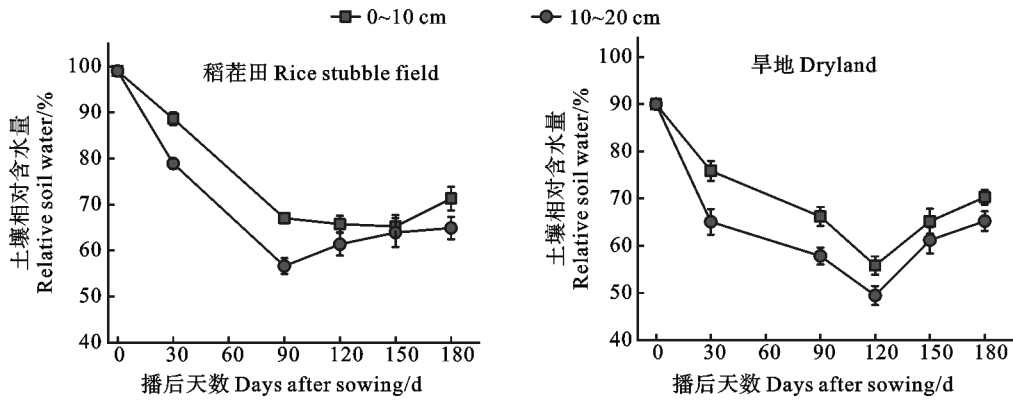


图 1 不同轮作模式下土壤相对含水量

Fig. 1 Soil relative water content under different rotation patterns

1.2 试验设计

供试小麦品种为当地主推品种蜀麦 1963,由四川农业大学选育。旱地麦前茬作物为大豆,稻茬麦前茬作物为水稻。试验采用二因素裂区设计,主区设 2 个施氮量,分别为 150、200 kg · hm⁻²,分别用 N₁、N₂ 表示,不施氮为对照(CK);副区为 4 个施氮基追比,设底肥:苗肥:拔节肥分别为 10:0:0、6:4:0、6:0:4、6:2:2,依次用 R₁、R₂、R₃、R₄ 表示,具体见表 2。试验地肥料选用尿素(含 N 46%)、过磷酸钙(含 P₂O₅ 17%)、氯化钾(含 K₂O 52%),磷、钾肥每公顷施 75 kg,作底肥一次施入。底肥于播种当日按小区撒施,苗肥于播种后 14 d(二叶一心期)施用,拔节肥于小麦拔

节期施用。小麦播种采用穴播,小区面积为 12 m²(4 m × 3 m),行距为 20 cm,穴距为 10 cm,基本苗为 2.25 × 10⁶ kg · hm⁻²。三次重复。其余管理同当地大田生产。

1.3 测定项目与方法

在播种前采用五点法采集 0~20 cm 土层土壤,避光自然风干后,测定土壤有机质、速效磷、速效钾、碱解氮含量;播前及播后 30、90、120、180 d 采用五点法采集 0~20 cm 土层土壤,采用烘干法测定土壤含水量,并计算土壤相对含水量^[18]。

在小麦三叶一心期(施苗肥后 15 d)、拔节期、孕穗期、开花期、成熟期,每个小区选取长势一致连续的 15 株,苗期、拔节期样品分别测定株高、茎

表 2 不同处理下小麦施氮量

Table 2 Nitrogen application rates of wheat under different treatments

处理 Treatment	总氮量 Total nitrogen	基肥 Base fertilizer	苗肥 Tillering fertilizer	拔节肥 Jointing fertilizer
CK	0	—	—	—
N ₁ R ₁	150	150	0	0
N ₁ R ₂	150	90	60	0
N ₁ R ₃	150	90	0	60
N ₁ R ₄	150	90	30	30
N ₂ R ₁	200	200	0	0
N ₂ R ₂	200	120	80	0
N ₂ R ₃	200	120	0	80
N ₂ R ₄	200	120	40	40

粗,取顶部完全展开叶采用浸提法测定叶绿素含量。将地上部分为茎、叶、穗(开花期)和籽粒(成熟期)分别装袋,于 105 ℃ 杀青 30 min,75 ℃ 烘干至恒重,按比叶重法计算叶面积指数^[19]。成熟期每小区连续调查 1 行(0.8 m²),统计有效穗数;连续取 30 穗,调查穗粒数、千粒重;除去边行,连取 3 行(2.4 m²),实收计产,按 13% 标准含水量折算实际产量。

1.4 相关指标计算

参照黄玲^[20]方法计算相关指标:

花前干物质运转量 = 开花期植株干物质质量 - 成熟期营养器官干物质质量

花前干物质运转效率 = 花前干物质运转量 / 开花期植株干物质质量 × 100%

花前干物质对籽粒产量贡献率 = 花前干物质运转量 / 成熟期籽粒干物质质量 × 100%

花后干物质积累量 = 成熟期籽粒干物质质量 - 花前干物质运转量

花后干物质对籽粒产量贡献率 = 花后干物质积累量 / 成熟期籽粒干物质质量 × 100%

1.5 数据处理

采用 Excel 2010 整理数据,采用 SPSS 22.0

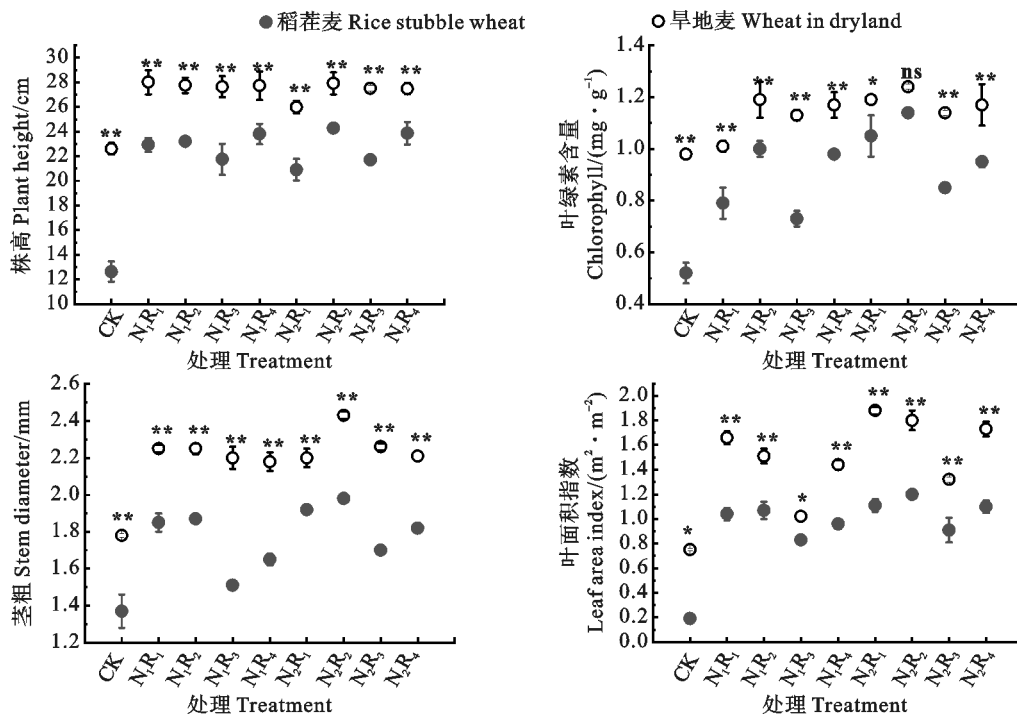
进行方差分析,采用最小显著差异法(LSD)进行显著性检验,采用 Origin 2021 绘图。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹下对小麦苗期和拔节期的群体质量的影响

调查结果(图 2)表明,就苗期株高、茎粗、叶面积指数、叶片叶绿素含量而言,旱地麦显著高于稻茬麦($P < 0.05$)。N₂ 的稻茬麦茎粗、叶面积指数、叶片叶绿素含量显著高于 N₁。不同氮肥基追比间比较,两种轮作模式下各指标均表现为 R₂ > R₁ > R₄ > R₃。相较于未施用苗肥的 R₃,R₂ 的稻茬麦株高、叶片叶绿素含量、叶面积指数、茎粗均显著增加,增幅依次为 9.3%、35.2%、30.7% 和 19.7%;R₂ 的旱地麦株高仅增加 0.9%,叶片叶绿素含量和茎粗显著增加,增幅分别为 6.7% 和 4.9%,表明施苗肥对稻茬麦苗期群体质量提升效果更好。

就拔节期株高、茎粗、叶面积指数和叶片叶绿素含量而言,旱地麦总体高于稻茬麦(图 3)。两种轮作模式下,N₁R₂ 处理的株高、叶片叶绿素含量、茎粗与 N₂R₂ 处理间差异均不显著。这表明早施苗肥可缩小旱地麦与稻茬麦拔节期群体质量差



CK、N₁、N₂ 代表施氮量 0、150、200 kg · hm⁻²; R₁、R₂、R₃、R₄ 分别代表底肥:苗肥:拔节肥为 10:0:0、6:4:0、6:0:4、6:2:2。* 和 ** 表示稻茬麦与旱地麦间差异在 0.05 和 0.01 水平显著。下同。

N₀, N₁ and N₂ represent 0, 150 and 200 kg · hm⁻², respectively; R₁, R₂, R₃ and R₄ represent base fertilizer:seedling fertilizer: jointing fertilizer were 10:0:0, 6:4:0, 6:0:4 and 6:2:2, respectively. * and ** mean significant difference between rice-stubble wheat and dry-land wheat at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same in figures 3-5.

图 2 不同氮肥运筹下小麦苗期的群体质量
Fig. 2 Population quality of wheat at seedling stage under different nitrogen managements

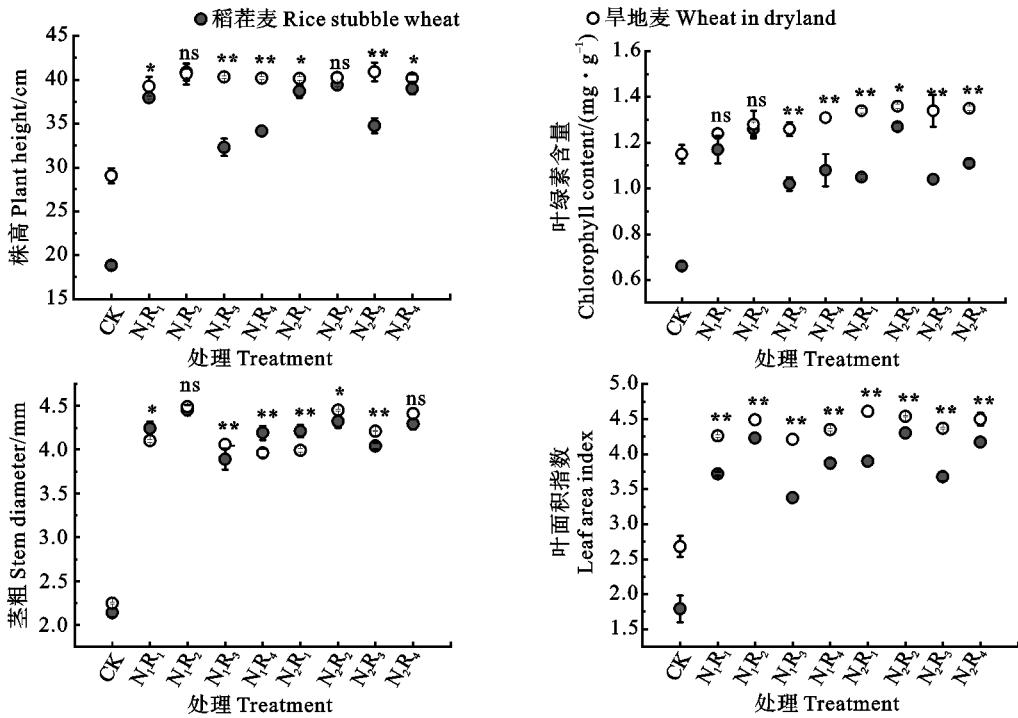


图 3 不同氮肥运筹下小麦拔节期的群体质量
 Fig. 3 Population quality of wheat at jointing stage under different nitrogen fertilizer managements

异。氮肥基追比间比较,上述指标整体表现为 $R_2 > R_1 > R_4 > R_3$, 并且两种种植模式均以 N_2 条件下施苗肥的群体质量最高。

2.2 氮肥运筹对小麦群体茎蘖动态的影响

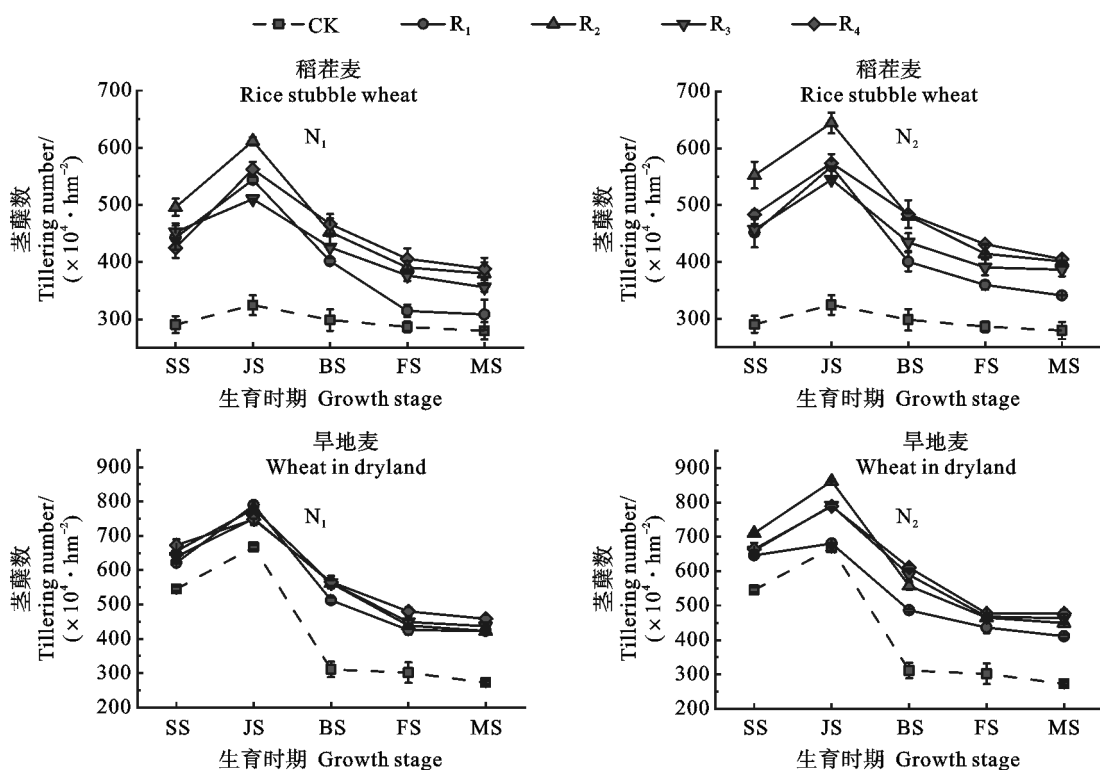
从图 4 可知,稻茬麦各生育时期茎蘖数都低于旱地麦; N_2 条件下,各生育时期群体茎蘖数高于 N_1 。 N_1 和 N_2 的稻茬麦苗期至成熟期茎蘖数分别为 $353.9 \times 10^4 \sim 556.8 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $383.5 \times 10^4 \sim 582.9 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$, N_2 较 N_1 的增幅为 3.10%~8.74%; N_1 和 N_2 的旱地麦苗期至成熟期茎蘖数分别为 $435.1 \times 10^4 \sim 766.5 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $449.9 \times 10^4 \sim 780.2 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$, N_2 较 N_1 的增幅为 1.79%~3.78%,表明增施氮肥对稻茬麦茎蘖数提高效应更大。氮肥基追比间比较, R_2 条件下稻茬麦和旱地麦拔节期茎蘖数分别为 627.9×10^4 和 $819.6 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$, 显著高于其他氮肥基追比 ($P < 0.05$); 稻茬麦开花期茎蘖数和成熟期有效穗数均表现为 $R_4 > R_2 > R_3 > R_1$, 旱地麦均表现为 $R_4 > R_3 > R_2 > R_1$ 。

2.3 氮肥运筹对小麦干物质积累量的影响

稻茬麦苗期、开花期、成熟期干物质积累量在 N_1 下分别为 268.0、12 871.1 和 17 145.7 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 在 N_2 下分别为 293.5、14 329.7 和 18 231.8 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 三个时期 N_1 和 N_2 间差异均显著 ($P <$

0.05); 旱地麦三个时期的成熟期干物质积累量在 N_1 下分别为 611.6、12 002.5 和 18 987.1, 在 N_2 下分别为 639.8、12 490.2 和 19 544.6 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, N_1 和 N_2 间无显著差异(图 5)。稻茬麦开花期干物质积累量高于旱地麦,可能与孕穗期旱地麦遭遇干旱胁迫有关。相同施氮量下,基追比对开花期和成熟期小麦干物质积累量均有显著影响,稻茬麦两个时期干物质积累量表现为 $R_4 > R_2 > R_3 > R_1$; 旱地麦则表现为 $R_4 > R_3 > R_2 > R_1$ 。

对干物质转运指标分析结果(表 3)表明,氮肥基追比对两种轮作模式下小麦花前干物质转运量和花后干物质积累量均具有显著影响 ($P < 0.05$), 施氮量与氮肥基追比对稻茬麦花前干物质转运效率、花前和花后干物质对籽粒产量贡献率有显著影响,两者交互显著影响旱地麦花前干物质转运量、花前和花后干物质对籽粒产量贡献率。相同氮肥运筹模式下,除 CK 外,稻茬麦花前干物质转运量、转运效率和贡献率显著高于旱地麦,旱地麦花后干物质积累量显著高于稻茬麦。稻茬麦 N_2 较 N_1 的花前干物质转运量及其贡献率分别提高 25.4 和 5.7 个百分点。对氮肥基追比进行分析,相较于 R_3 , 稻茬麦 R_2 和 R_4 的花前干物质转运量分别提高 34.1%、20.0%, 花前干物质的贡献率分别提高 12.9 和 1.2 个百分点; 旱地条件下, R_3 和 R_4 较 R_2 的花后干物质积累量分别提高 4.7% 和 6.5%。



SS: 苗期; JS: 拔节期; BS: 孕穗期; FS: 开花期; MS: 成熟期。下同。

SS: Seedling stage; JS: Jointing stage; BS: Booting stage; FS: Flowering stage; MS: Maturity stage. The same in figure 5.

图 4 不同氮肥运筹下小麦茎蘖动态

Fig. 4 Tilling dynamics of wheat under different nitrogen managements

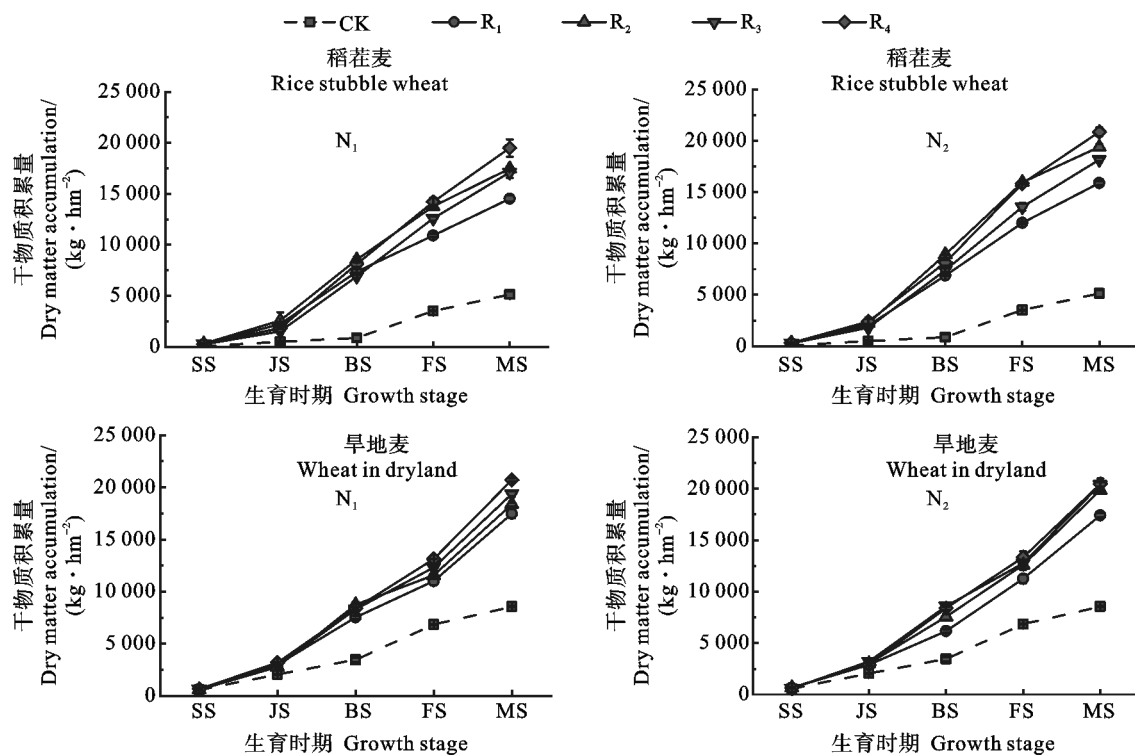


图 5 不同氮肥运筹下小麦干物质积累量

Fig. 5 Dry matter accumulation of wheat under different nitrogen fertilizer managements

表 3 不同氮肥运筹下小麦干物质转运和贡献

Table 3 Dry matter transport and contribution of wheat under different nitrogen fertilizer managements

因素及组合 Factor and combination	稻茬麦 Rice-stubble wheat					旱地麦 Wheat in dryland				
	TDTA/ (kg · hm ⁻²)	TDTR/%	CRDG/%	DAPA/ (kg · hm ⁻²)	CRDPA/%	TDTA/ (kg · hm ⁻²)	TDTR/%	CRDG/%	DAPA/ (kg · hm ⁻²)	CRDPA/%
施氮量 Nitrogen rate										
CK	752.7	21.5	31.9	1 635.9	68.1	1 725.0	25.2	50.2	1 711.4	49.8
N ₁	3 422.3b	26.3b	44.3b	4 286.7a	55.7a	2 205a	18.3a	24.0a	6 969.6a	76.0a
N ₂	4 290.4a	29.7a	50.0a	4 227.1a	50.0b	2 247a	18.1a	24.1a	7 126.2a	76.0a
氮肥基追比 Nitrogen application ratio										
R ₁	2 846.6d	24.7c	42.9c	3 763.0c	57.1a	2 037.6d	18.3a	24.4a	6 309.6c	75.6a
R ₂	4 764.4a	32.0a	56.9a	3 574.29c	43.1b	2 155.7c	17.9a	23.5a	7 030.9b	76.5a
R ₃	3 551.6c	27.0b	44.0bc	4 494.0b	56.0a	2 286.4b	18.3a	23.7a	7 361.7a	76.3a
R ₄	4 262.8b	28.4b	45.2b	5 196.3a	54.8a	2 425.0a	18.5a	24.5a	7 489.3a	75.5a
组合 Combination										
N ₁ R ₁	2 445.4e	22.4e	40.2e	3 629.8cd	59.8a	1 902.7e	17.3d	22.7d	6 470.5f	77.3a
N ₁ R ₂	4 151.4c	30.2b	53.0b	3 678.1bcd	47.0d	2 120.8d	18.4abcd	23.8bcd	6 803.6e	76.2abc
N ₁ R ₃	3 139.9d	24.9de	41.0de	4 526.6ab	59.0ab	2 295.4bc	18.7abc	24.5bc	7 062.2d	75.5bc
N ₁ R ₄	3 952.6c	27.8bc	42.9cde	5 312.3a	57.1abc	2 502.2a	19.1ab	24.9ab	7 542.0ab	75.1cd
N ₂ R ₁	3 247.8d	27.1cd	45.5cde	3 896.2bcd	54.5abc	2 172.5cd	19.3a	26.1a	6 148.7g	73.9d
N ₂ R ₂	5 377.4a	33.9a	60.8a	3 470.5d	39.2e	2 190.5cd	17.4d	23.2cd	7 258.2cd	76.8ab
N ₂ R ₃	3 963.3c	29.0bc	47.1bcd	4 461.4abc	53.0bcd	2 277.4bc	17.9cd	22.9d	7 661.3a	77.1a
N ₂ R ₄	4 573.0b	28.9bc	47.4bc	5 080.4a	52.6cd	2 347.8b	18.0bcd	24.0bcd	7 436.7bc	76.0abc
F 值 F value										
N	151.8**	41.0*	21.4*	21.8*	21.4*	3.3	1.3	0.1	18	0.1
R	131.7**	38.6**	43.0**	43.0**	43.0**	26.5**	1.5	2.1	136.3**	2.1
N×R	2.6	2.6	0.5	0.5	0.5	7.5**	10.8**	10.9**	23.6**	10.9**

TDTA: 花前干物质转运量; TDTR: 花前干物质转运效率; CRDG: 花前干物质对籽粒产量贡献率; DAPA: 花后干物质积累量; CRDPA: 花后干物质对籽粒产量贡献率。相同因素或者组合同列数据后不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。表 4 同。

TDTA: Dry matter transport before flowering; TDTR: Pre-anthesis dry matter transport rate; CRDG: Contribution rate of pre-anthesis dry matter to grain yield; DAPA: Dry matter accumulation after anthesis; CRDPA: The contribution rate of post-anthesis dry matter to grain yield. Different letters following data in the same columns indicate significant differences among different treatments or factor levels ($P < 0.05$). The same in table 4.

2.4 氮肥运筹对小麦产量及其构成因素的影响

氮肥基追比对两种轮作模式下小麦的穗粒数、有效穗数和产量均有显著影响 ($P < 0.05$)，施氮量对稻茬麦上述 3 个指标和旱地麦的穗粒数有显著影响，氮肥基追比和施氮量交互仅对两种轮作模式下小麦的穗粒数、稻茬麦的产量和旱地麦的有效穗数有影响显著 (表 4)。相同氮肥运筹模式下，稻茬麦产量低于旱地麦。N₂ 下稻茬麦平均产量较 N₁ 显著提高 (7.8%)，旱地麦的产量仅提高 2.5%。不同氮肥基追比间产量存在显著差异，稻茬麦 R₄ 和 R₂ 的产量显著高于 R₃ 和 R₁，R₂ 与 R₁ 间差异不显著；而旱地麦 R₁ 和 R₃ 的产量显著高于 R₂ 和 R₄，R₃ 与 R₁ 间差异不显著。

两种轮作模式下，N₂ 的有效穗数较 N₁ 增加，千粒重下降。同一施氮量下，在两种轮作模式下 R₄ 的有效穗数最高；稻茬条件下，R₁、R₂ 的有

效穗数显著高于其他氮肥基追比；旱地条件下，R₁、R₃ 的有效穗数显著高于其他处理，表明氮肥基追比对小麦构成因素的影响与轮作模式有关。同一氮肥运筹模式下，旱地麦施肥处理的有效穗数显著高于稻茬麦，增幅 11.6%~37.2%，这可能是稻茬麦产量低于旱地麦的主要原因。

2.5 不同轮作模式下小麦群体性状的相关性分析

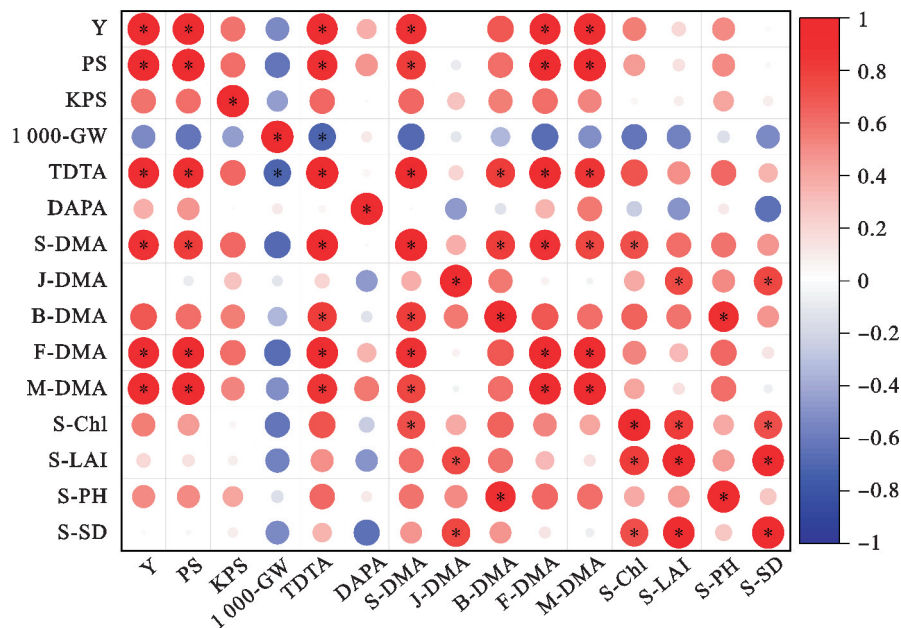
由图 6 可知，稻茬麦产量与有效穗数、花前干物质转运量、苗期干物质积累量、开花期干物质积累量、成熟期干物质积累量均显著相关；与苗期叶片叶绿素含量、株高、叶面积指数均呈正相关，表明提升苗期群体质量有利于稻茬麦产量的提高。

旱地麦产量与穗数、花前干物质转运效率、花后成熟期干物质积累量均呈显著正相关，而苗期干物质积累量与产量相关不显著 (图 7)，表明提升苗期群体质量对旱地麦产量影响较小。

表 4 不同氮肥运筹下小麦产量及其构成

Table 4 Wheat yield and its components under different nitrogen fertilizer managements

因素与组合 Factor and combination	稻茬麦 Rice-stubble wheat				旱地麦 Wheat in dryland			
	有效穗 Effective spikes/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	产量 Yield/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	有效穗 Effective spikes/ ($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗粒数 Kernels per spike	千粒重 1 000-grain weight/g	产量 Yield/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
施氮量 Nitrogen rate								
CK	279.5	17.7	50.9	2 299.2	272.8	29.1	52.3	4 491.4
N ₁	357.7b	40.5b	50.2a	6 869.5b	435.1a	41.4a	50.0a	8 757.8a
N ₂	383.5a	41.1a	48.8a	7 402.1a	449.9a	41.0b	49.2a	8 979.5a
氮肥基追比 Nitrogen application ratios								
R ₁	324.7c	39.7c	49.8a	6 070.5c	416.5d	41.9a	49.6ab	8 262.2c
R ₂	390.1a	41.5a	49.2a	7 668.8a	435.9c	40.9b	50.0a	8 821.8b
R ₃	371.1b	41.2ab	49.6a	7 085.6b	450.0b	41.4a	49.9a	9 193.5a
R ₄	396.5a	40.8b	49.5a	7 718.3a	467.7a	40.5b	49.0b	9 197.0a
组合 Combination								
N ₁ R ₁	308.0e	40.2b	50.3a	5 590.4d	422.6bc	41.6ab	49.9ab	8 132.7d
N ₁ R ₂	378.8c	41.5a	50.1a	7 495.8ab	422.8bc	41.2bc	50.4a	8 670.7bc
N ₁ R ₃	355.7d	40.3b	50.4a	6 808.2c	436.9abc	42.0a	50.4a	9 070.9a
N ₁ R ₄	388.2abc	39.9bc	50.1a	7 583.6ab	458.3ab	40.7cd	49.5ab	9 156.8a
N ₂ R ₁	341.3d	39.1c	49.2a	6 550.6c	410.4c	42.0a	49.4ab	8 391.7cd
N ₂ R ₂	401.3ab	41.5a	48.3a	7 841.9a	449.0abc	40.6cd	49.5ab	8 972.8ab
N ₂ R ₃	386.6bc	42.0a	48.9a	7 363.0b	463.1ab	40.8cd	49.5ab	9 316.0a
N ₂ R ₄	404.9a	41.7a	48.8a	7 853.0a	477.0a	40.4d	48.47b	9 237.3a
F 值 F value								
N	344.0*	115.9**	6	49.5*	11.5	47.4*	5.4	8.1
R	31.8**	14.8**	0.6	174.2**	41.4**	13.2**	2.7	48.9**
N×R	0.4	11.6**	0.2	7.1**	7.4*	4.2*	0.2	0.6



Y:产量;PS:有效穗;KPS:穗粒数;1 000-GW:千粒重;S-DMA:苗期干物质质量;J-DMA:拔节期干物质质量;B-DMA:孕穗期干物质质量;F-DMA:开花期干物质质量;M-DMA:成熟期干物质质量;S-Chl:苗期叶绿素;S-LAI:苗期叶面积指数;S-PH:苗期株高;S-SD:苗期茎粗。
* $P < 0.05$ 。下同。

Y: Yield; PS: Effective spikes; KPS: Kernels per spike; 1 000-GW: 1 000-grain weight; S-DMA: Seedling dry matter accumulation; J-DMA: Dry matter accumulation at jointing stage; B-DMA: Dry matter accumulation at booting stage; F-DMA: Dry matter accumulation at flowering stage; M-DMA: Dry matter accumulation at maturity; S-Chl: Seedling chlorophyll content; S-LAI: Seedling leaf area index; S-PH: Seedling plant height; S-SD: Seedling stem diameter. $P < 0.05$. The same in figure 7.

图 6 稻茬麦群体质量性状的相关性
Fig. 6 Correlation of population traits of rice-stubble wheat

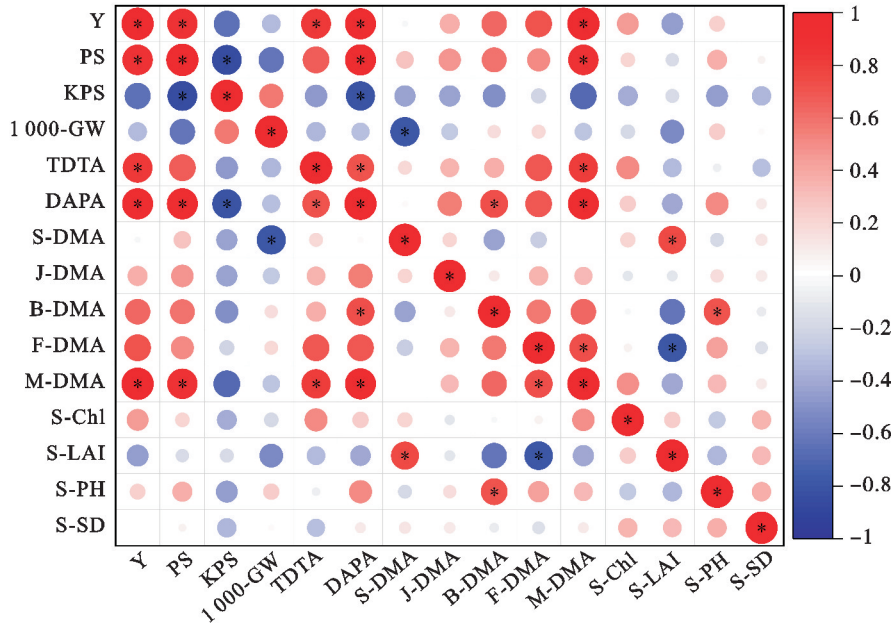


图 7 旱地麦群体质量性状的相关性
Fig. 7 Correlation of population traits of dryland wheat

3 讨论

3.1 氮肥运筹对不同轮作模式小麦苗期群体质量的影响

培育壮苗是小麦稳产增产的基础。研究表明,苗期是四川稻茬麦渍害临界期^[21],苗期渍水会导致基施氮肥淋溶、土壤含氧量下降和有毒物质积累,造成小麦叶片发黄、分蘖减少和麦苗素质下降^[22]。本研究中,稻茬麦生长因苗期渍水而受到抑制,株高、分蘖数、叶面积指数及叶绿素含量等指标均低于旱地小麦。氮素可调控作物生长,改善作物群体结构,有助于缓解作物在逆境胁迫下所遭受的负面影响。吴鹏等^[23]研究表明,在 0~157.5 kg·hm⁻² 施氮范围内,稻茬小麦苗期株高、单株干重、单株叶面积等个体质量指标均随施氮量的增加而显著增加。陈红琳等^[24]认为,苗期冬油菜遭受渍水胁迫后,增施氮肥能提高植株叶片叶绿素含量,一定程度上缓解渍水胁迫的影响。本研究发现,与 N₁ 相比,N₂ 显著提高稻茬麦苗期叶绿素含量和叶面积指数及小麦苗期干物质积累量,促进苗期受渍小麦恢复性生长。

前人研究表明,针对小麦苗期偏弱的群体,早追氮肥有利于顶部叶片面积增大,促进小麦早中期 LAI 的提高,进而增强群体的光合生产力^[25]。本试验结果与其基本一致,施用苗肥的 R₂ 处理提高了小麦苗期和拔节期干物质积累量与群体茎

蘖数,缩小了因渍水所导致的稻茬麦与旱地麦生长前期的群体差距,有利于在前期构建出高质量群体。稻茬条件下追施苗肥和增加施氮量对麦苗改善效果大于旱地。相关性分析发现,稻茬小麦苗期干物质积累量与孕穗期、开花期、成熟期干物质积累量均呈显著正相关;而旱地小麦表现均不显著,表明可通过改善稻茬小麦苗期生长状况提高后期干物质积累量,因此稻茬麦应增施和早施氮肥,从而保障麦苗素质。

3.2 氮肥运筹对不同轮作模式小麦产量的影响

干物质积累与分配是作物产量形成的基础,合理施氮有利于提高小麦干物质积累能力^[26]。在一定施氮量范围内,小麦干物质积累量随着施氮量的增加而增加,超过一定限度,小麦干物质积累量不增甚至会下降^[27]。本试验中,在 150 和 200 kg·hm⁻² 两个施氮量下,增施氮肥后小麦开花期和成熟期地上部干物质积累量均增加,这与前人研究一致。增施氮肥后,稻茬麦的干物质积累量和产量显著提升,而旱地麦则无显著变化,表明不同种植模式下小麦的最适施氮范围不同。

在相同施氮量条件下,可通过调节施肥模式实现产量的提高,但关于氮肥追施比例对小麦物质积累及产量的调控尚未有一致结论。杨蕊等^[28]研究表明,优化施肥(底肥:越冬期追肥:拔节期追肥=1:1:1)较常规施肥(底肥:越冬期追肥=7:3)降低了稻茬麦开花期干物质积累量,但提

高成熟期干物质积累量,使产量增加。王强生等^[5]研究认为,氮肥后移(底肥:拔节肥=6:4)相较于氮肥前移(底肥:苗肥=7:3)使小麦光合性能及物质积累能力增强,促进了开花期和成熟期的干物质积累量,从而产量提升。本试验中,稻茬条件下施用苗肥的 R_2 、 R_4 处理开花期和成熟期群体茎蘖数和干物质积累量较高;在旱地条件下,则是施用拔节肥的 R_3 和 R_4 处理较高,推测可能因为稻茬麦在渍害后施用苗肥快速补充了速效养分,促进小麦恢复性生长,保证了各生长阶段的群体数量和质量,有利于干物质积累和有效穗增加,而旱地条件下小麦生长前期水分适宜,土壤中固液气三相比例适中,依靠底肥也能满足分蘖时的养分需求,因此施用苗肥的 R_2 处理对小麦苗期分蘖能力提升有限。另外,旱地条件下施用拔节肥的 R_3 、 R_4 处理有利于满足拔节—孕穗期的养分需求,促进大穗的形成,同时通过确保小麦在生长后期保持较高的叶面积指数和叶绿素含量来提高光合利用率^[29-30],从而较 R_2 、 R_1 处理更为有效地提高了干物质积累量和有效穗数,最终增加产量。综合来看,成都平原稻茬麦应通过追施苗肥适当氮肥前移,而旱地麦更适宜追施拔节肥,即适当氮肥后移。

花前和花后光合产物共同决定籽粒产量的最终形成^[31],提高花前干物质转运量和花后干物质积累量有利于提升产量^[32]。有研究指出,花前干物质积累量越多,干物质转运效率也越高,越有利于产量的形成^[33]。也有研究认为,旱地条件下小麦籽粒的干物质主要来自花后同化物的输入,增强花后干物质向籽粒转运,有利于产量的提高^[34]。本研究发现,施氮量对不同轮作模式下小麦干物质转运影响不同,稻茬条件下,与 N_1 相比, N_2 显著提高小麦花前干物质转运量、转运效率和花前干物质对籽粒产量的贡献率,旱地麦各指标在 N_1 和 N_2 间无显著差异,其原因可能是在稻茬田增施氮肥可满足小麦氮素供应,延长叶片功能期,促进营养器官物质向籽粒的转运,从而提高产量。而在旱地条件下过量氮素则造成了营养器官的旺长,限制营养器官物质向籽粒的转运,从而降低了花前干物质对籽粒产量的贡献率^[35]。稻茬条件下,苗肥早施可通过提升花前干物质转运量和转运效率来提高小麦产量,结论与前人一致^[21]。旱地条件下,小麦花后干物质生产力强于稻茬麦,施拔节肥则可以提高花后干物质积累量

进而提升产量。

4 结论

本试验条件下,增施氮肥有利于改善稻茬麦苗期性状,提高群体质量,进而增加产量,而增施氮肥对旱地麦群体质量和产量的提升效果有限。氮肥基追比对不同轮作模式下小麦生长的影响不同,稻茬条件下苗期追氮可显著改善小麦苗期群体质量,有利于在生长前期构建高质量群体,提高花前干物质转运量及其对籽粒产量的贡献率,最终增加产量;而施拔节肥有利于维持旱地麦分蘖的生长,保证后期群体数量,从而提高产量。成都平原地区稻茬麦适合在 $200\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施氮量下采用底肥:苗肥=6:4和底肥:苗期:拔节期=6:2:2的氮肥运筹模式,而旱地麦则更适合在 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 施氮量下采用底肥:拔节肥=6:4和底肥:苗期:拔节期=6:2:2的氮肥运筹模式。

参考文献:

- [1]王凯,贾永红,罗四维,等.播种方式和种植密度对冬小麦根系生长和产量的影响[J].麦类作物学报,2023,43(2):226.
WANG K, JIA Y H, LUO S W, et al. Effect of sowing pattern and planting density on root growth and yield of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(2): 226.
- [2]刘海涛,陈一兵,田静,等.成都平原不同种植模式下重金属镉污染风险和经济效益评价[J].农业资源与环境学报,2019,36(2):185.
LIU H T, CHEN Y B, TIAN J, et al. Evaluation of economic benefits and cadmium pollution risk in different cropping system in Chengdu Plain, China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2019, 36(2): 185.
- [3]杨蕊.氮肥运筹对江汉平原旱地小麦和稻茬小麦产量和氮素利用的影响[D].荆州:长江大学,2020:1.
YANG R. Effects of nitrogen fertilizer management methods on yield and nitrogen use efficiency between wheat in dryland and rice stubble wheat in Jianghan Plain [D]. Jingzhou: Yangtze University, 2020: 1.
- [4]高仁才,陈松鹤,马宏亮,等.秋闲期秸秆覆盖与氮肥减施对旱地冬小麦干物质积累、结实特性和产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2022,28(3):427.
GAO R C, CHEN S H, MA H L, et al. Effects of straw mulching in autumn and reducing nitrogen application on dry matter accumulation, seed-setting characteristics and yield of dryland winter wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, 28(3): 427.
- [5]王强生,徐娟,樊高琼,等.基于“三合结构”分析氮肥运筹对四川丘陵旱地小麦物质生产及产量形成的影响[J].麦类作物学报,2016,36(10):1370.
WANG Q S, XU J, FAN G Q, et al. Effect of nitrogen strate-

- gies on dry matter accumulation and yield of wheat in Sichuan hilly areas based on “three combination structure” [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(10): 1370.
- [6] 仇维佑, 朱松, 李玲, 等. 黏土地稻茬麦反旋条带播种机设计与试验[J]. *农机化研究*, 2023, 45(12): 74.
 QIU W Y, ZHU S, LI L, *et al.* Design and experiment of reverse rotary stripe seeder for wheat following rice in clay soil [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2023, 45(12): 74.
- [7] 申丹丹, 牛铁男, 朱敏, 等. 氮、硫肥配施对稻茬麦氮素利用及籽粒产量和品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2022, 42(2): 189.
 SHEN D D, NIU Y N, ZHU M, *et al.* Effects of combined application of nitrogen and sulfur on N use efficiency, grain yield and quality of wheat following rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(2): 189.
- [8] 宋凌麒, 刘欢, 田丽云, 等. 减氮对小麦孕穗期植株氮素分配及叶片叶绿素含量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(19): 79.
 SONG L Q, LIU H, TIAN L Y, *et al.* Impacts of nitrogen reduction on plant nitrogen allocation and leaf chlorophyll content in wheat at booting stage [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(19): 79.
- [9] 杜世州, 曹承富, 张耀兰, 等. 氮素运筹对淮北地区超高产小麦养分吸收利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(1): 9.
 DU S Z, CAO C F, ZHANG Y L, *et al.* Effects of nitrogen application on nitrogen absorption, utilization in super-high yielding wheat in Huaibei Region [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2011, 17(1): 9.
- [10] RATHORE V S, NATHAWAT N S, BHARDWAJ S, *et al.* Yield, water and nitrogen use efficiencies of sprinkler irrigated wheat grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region [J]. *Agricultural Water Management*, 2017, 187: 244.
- [11] 李声春, 李晓方, 张一林, 等. 施氮量对江汉平原小麦—大豆轮作作物产量和氮素利用效率的影响[J]. *长江大学学报(自然科学版)*, 2023, 20(4): 2.
 LI S C, LI X F, ZHANG Y L, *et al.* Effect of nitrogen application rate on crops yield and nitrogen utilization efficiency of wheat soy bean rotation in Jianghan Plain [J]. *Journal of Yangtze University (Natural Science Edition)*, 2023, 20(4): 2.
- [12] SHI Y, YU Z, MAN J, *et al.* Tillage practices affect dry matter accumulation and grain yield in winter wheat in the North China Plain [J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 160: 74.
- [13] WAN W, ZHAO Y, XU J, *et al.* Reducing and delaying nitrogen recommended by leaf critical SPAD value was more suitable for nitrogen utilization of spring wheat under a new type of drip-irrigated system [J]. *Agronomy*, 2022, 12(10): 2331.
- [14] 任开明, 杨文俊, 王犇, 等. 施氮量对稻茬弱筋小麦籽粒氮代谢及灌浆的影响[J]. *核农学报*, 2023, 37(3): 614.
 REN K M, YANG W J, WANG B, *et al.* Effect of nitrogen application rate on grain nitrogen metabolism and grain filling of weak gluten wheat after rice [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2023, 37(3): 614.
- [15] 赵艳, 罗铮, 杨丽, 等. 氮肥运筹对稻茬小麦氮素转运、干物质积累、产量及品质的影响[J]. *麦类作物学报*, 2022, 42(8): 1008.
 ZHAO Y, LUO Z, YANG L, *et al.* Effect of nitrogen fertilizer application on nitrogen translocation, dry matter accumulation, yield and quality of wheat after rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2022, 42(8): 1008.
- [16] 李梦倩, 房世波, 朱永超, 等. 2021年夏季中国大陆涝渍灾害时空分布分析[J]. *遥感学报*, 2022, 26(9): 1889.
 LI M Q, FANG S B, ZHU Y C, *et al.* Spatial and temporal distributions of waterlogging disasters in the summer of 2021 in Mainland China and their possible impacts [J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2022, 26(9): 1889.
- [17] 许振柱, 李长荣, 陈平, 等. 土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2000, 18(1): 113.
 XU Z Z, LI C R, CHEN P, *et al.* Effect of soil drought on physiological characteristics and dry matter accumulation in winter wheat [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2000, 18(1): 113.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
 BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [19] 高仁才. 秋闲季秸秆覆盖与减氮对四川丘陵旱地小麦产量及水氮利用的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2020: 17.
 GAO R C. Effects of straw mulching in autumn and reducing nitrogen rate on yield, water and nitrogen utilization of winter wheat in hilly dryland of Sichuan [D]. Sichuan Agricultural University, 2020: 17.
- [20] 黄玲, 赵凯, 邵敏敏, 等. 高产小麦群体动态及干物质积累与转运特性分析[J]. *山东农业科学*, 2021, 53(5): 163.
 HUANG L, ZHAO K, SHAO M M, *et al.* Population dynamics and characteristics of dry matter accumulation and translocation of high-yielding wheat cultivars [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021, 53(5): 163.
- [21] 吴元奇, 李朝苏, 樊高琼, 等. 渍水对四川小麦生理性状及产量的影响[J]. *应用生态学报*, 2015, 26(4): 1169.
 WU Y Q, LI C S, FAN G Q, *et al.* Effect of waterlogging on physical traits and yield of wheat in Sichuan, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(4): 1169.
- [22] 李庆禄, 陈天星, 刘涛, 等. 渍害对小麦生长的影响及渍害监测技术研究进展[J]. *东北农业科学*, 2022, 47(2): 26.
 LI Q L, CHEN T X, LIU T, *et al.* Research progress of monitoring technology and the influence of waterlogging on wheat growth [J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2022, 47(2): 26.
- [23] 吴鹏, 李福建, 于倩倩, 等. 耕作与播种方式、密度和施氮量对稻茬小麦幼苗质量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2021, 41(1): 79.
 WU P, LI F J, YU Q Q, *et al.* Effect of tillage and seeding

- method, planting density, and nitrogen rate on seedling quality of wheat following rice [J]. *Journal of Triticeae Crop*, 2021, 41(1): 79.
- [24] 陈红琳, 陈尚洪, 郑盛华, 等. 增施氮素对苗期渍水胁迫冬油菜生理特性及产量的调控效应[J]. 土壤, 2017, 49(3): 524.
CHEN H L, CHEN S H, ZHENG S H, *et al.* Regulation effects of adding nitrogen on physiological properties and yield of rapeseed after waterlogging during seedling [J]. *Soils*, 2017, 49(3): 524.
- [25] 卜冬宁, 李瑞奇, 张晓, 等. 氮肥基追比和追氮时期对超高产冬小麦生育及产量形成的影响[J]. 河北农业大学学报, 2012, 35(4): 6.
BU D N, LI R Q, ZHANG X, *et al.* Effects of basal-topdressing ratio and topdressing time of nitrogen on the growth and development and grain yield formation in superhigh yielding winter wheat [J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2012, 35(4): 6.
- [26] 吕广德, 王超, 靳雪梅, 等. 水氮组合对冬小麦干物质及氮素积累和产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(8): 2600.
LÜ G D, WANG C, JIN X M, *et al.* Effects of water-nitrogen combination on dry matter, nitrogen accumulation and yield of winter wheat [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(8): 2600.
- [27] 史辛凯, 于振文, 赵俊晔, 等. 施氮量对高产小麦光合特性、干物质积累分配与产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(6): 719.
SHI X K, YU Z W, ZHAO J Y, *et al.* Effect of nitrogen application rate on photosynthetic characteristics, dry matter accumulation and distribution and yield of high-yielding winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(6): 719.
- [28] 杨蕊, 耿石英, 王小燕. 江汉平原不同氮肥运筹模式下豆麦和稻/麦轮作系统小麦产量和经济效益差异[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 447.
YANG R, GENG S Y, WANG X Y. Differences of wheat yield and economic benefits between soybean-wheat and rice-wheat cropping under different nitrogen fertilization patterns in Jianghan Plain, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(2): 447.
- [29] 王慧, 吴迪, 李东升, 等. 氮肥施用量和运筹比例对稻茬晚播小麦群体结构、光合性能及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(20): 97.
WANG H, WU D, LI D S, *et al.* Impacts of nitrogen fertilizer application rate and ratio on population structure, photosynthetic performance and yield of late sowing wheat in rice stubble [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(20): 97.
- [30] 薛轲尹, 杨蕊, 张程翔, 等. 氮肥运筹对江汉平原稻茬小麦产量及氮效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(7): 814.
XUE K Y, YANG R, ZHANG C X, *et al.* Effect of nitrogen fertilizer management on yield and nitrogen efficiency of rice stubble wheat in Jianghan Plain [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2020, 40(7): 814.
- [31] 吴祯, 张保军, 海江波, 等. 不同种植方式对冬小麦花后干物质积累与分配特征及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(10): 1382.
WU Z, ZHANG B J, HAI J B, *et al.* Effect of different planting patterns on dry matter accumulation and distribution post-anthesis and yield of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2017, 37(10): 1382.
- [32] LU D, LU F, PAN J, *et al.* The effects of cultivar and nitrogen management on wheat yield and nitrogen use efficiency in the North China Plain [J]. *Field Crops Research*, 2015, 171: 158.
- [33] 李瑞珂, 汪洋, 安志超, 等. 不同产量类型小麦品种的干物质和氮素积累转运特征[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(11): 1363.
LI R K, WANG Y, AN Z C, *et al.* The transport characteristics of dry matter and nitrogen accumulation in different wheat cultivars [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(11): 1363.
- [34] 高玉红, 吴兵, 崔红艳, 等. 不同旱地春小麦新品种(系)干物质积累和产量形成的特点[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5): 5.
GAO Y H, WU B, CUI H Y, *et al.* Characteristics of dry matter accumulation and grain yield forming of different spring wheat varieties or strains in dryland of Gansu Province [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2018, 36(5): 5.
- [35] 李传梁, 于振文, 张娟, 等. 测墒补灌条件下施氮量对小麦干物质积累转运和产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(8): 1044.
LI C L, YU Z W, ZHANG J, *et al.* Effect of nitrogen application rates on dry matter accumulation, transportation and yield of wheat under the conditions of soil moisture measurement and supplementary irrigation [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(8): 1044.