

## 缓释肥运筹对裸大麦产量和品质的影响

李赢, 刘海翠, 石晓旭, 石吕, 薛亚光, 刘建, 魏亚凤

(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 226001)

**摘要:**为探究缓释肥在裸大麦上的高效施肥方式,以苏裸麦2号为材料,以树脂包膜缓释肥(PCU)和普通尿素(U)为氮源,设置8种施肥模式:100% PCU基施(T<sub>1</sub>),75% PCU+25% U基施(T<sub>2</sub>),50% PCU+50% U基施(T<sub>3</sub>),25% PCU+75% U基施(T<sub>4</sub>),100% U基施(T<sub>5</sub>),60% PCU基施+40% PCU返青期追施(T<sub>6</sub>),100% U分施(基肥:苗肥:拔节肥:孕穗肥为50:10:25:15,CK),不施氮(CK<sub>0</sub>),分析了不同施肥模式对裸大麦生育期、产量及其构成因素、氮肥农学效率和品质的影响。结果表明,T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>和T<sub>6</sub>处理的生育期显著短于CK(P<0.05)。T<sub>6</sub>处理的产量和氮肥农学效率最高,较CK分别提高了2.35%和2.12%,但差异不显著,增产原因在于穗数和千粒重的提高,而T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>和T<sub>5</sub>处理的产量和氮肥农学效率均低于CK。T<sub>3</sub>处理的直链淀粉含量最低,较CK下降34.11%,支链淀粉含量和可溶性膳食纤维含量最高,分别较CK增加37.60%和22.21%,综合品质表现最好。经相关性分析,产量与穗数和穗粒数均呈极显著正相关(P<0.01),与粗蛋白含量呈显著正相关(P<0.05),说明穗数、穗粒数和粗蛋白含量可作为选育高产裸大麦品种的目标性状。综合认为,60% PCU基施+40% PCU返青期追施的施肥模式可提高裸大麦的产量和氮肥农学效率,50% PCU+50% U基施的施肥模式下裸大麦的综合品质表现最佳。这两种处理可作为裸大麦推荐施肥模式。

**关键词:** 裸大麦;缓释肥;产量;氮肥农学效率;品质

中图分类号:S512.3;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2025)09-1276-07

## Effects of Different Proportion and Application Methods of Slow-Release Fertilizer on Yield and Quality of Naked Barley

LI Ying, LIU Haicui, SHI Xiaoxu, SHI LÜ, XUE Yaguang, LIU Jian, WEI Yafeng

(Jiangsu Yanjiang Area Institute of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Recycling Agriculture of Nantong City, Nantong, Jiangsu 226001, China)

**Abstract:** In order to explore the most efficient fertilization method of slow-release fertilizer in naked barley, Suluomai 2 was used as the experimental material, polymer coated urea (PCU) and urea (U) were selected as the nitrogen resources. Eight fertilization modes were designed. They were 100% PCU as basic fertilizer (T<sub>1</sub>), 75% PCU and 25% U as basic fertilizer (T<sub>2</sub>), 50% PCU and 50% U as basic fertilizer (T<sub>3</sub>), 25% PCU and 75% U as basic fertilizer (T<sub>4</sub>), 100% U as basic fertilizer (T<sub>5</sub>), 60% PCU as basic fertilizer and 40% PCU as re-greening fertilizer (T<sub>6</sub>) and 0 N (CK<sub>0</sub>), respectively, and 100% U (basal: seedling: jointing: booting as 50:10:25:15) was the control (CK). The effects of different fertilization models on growth period, yield and its components, nitrogen fertilizer agronomic efficiency and quality of naked barley were studied. The results showed that the growth period of the T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub>, T<sub>5</sub> and T<sub>6</sub> models was significantly shorter than that of CK. The yield and nitrogen fertilizer agronomic efficiency of the T<sub>6</sub> model were the highest, which was increased by 2.35% and 2.12%

收稿日期:2024-09-14

修回日期:2024-11-19

基金项目:南通市科技项目(MS22020035);江苏省“六大人才高峰”高层次人才项目(NY-200)

第一作者 E-mail:1185077523@qq.com(李赢)

通讯作者 E-mail:w-yafeng@163.com(魏亚凤)

than that of CK, respectively, mainly due to the increase of panicle number and 1 000-grain weight. The yield and nitrogen fertilizer agronomic efficiency of the  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  and  $T_5$  models which used all nitrogen as basic fertilizer were lower than those of CK. The  $T_3$  model had the lowest amylose content, but the highest amylopectin content and soluble dietary fiber content, which was decreased by 34.11%, but increased by 37.60% and 22.21% than those of CK, respectively. Thus, the  $T_3$  model had the best quality. The correlation analysis of 10 quantitative traits showed that yield was significantly positively correlated with panicle number ( $P < 0.01$ ), spikelet number per panicle ( $P < 0.01$ ), and crude protein content ( $P < 0.05$ ), which indicated that panicle number, spikelet number per panicle, and crude protein content can be used as the main target traits for high yield naked barley varieties breeding. Taken together, the  $T_6$  model (60% PCU as basic fertilizer, 40% PCU as re-greening fertilizer) was recommended, as it was conducive to achieving the purpose of increasing production and nitrogen fertilizer agronomic efficiency; while the  $T_3$  model (50% PCU and 50% U as basic fertilizer) would be a better choice to achieve the naked barley with better quality. These two models could be recommended as fertilization patterns for naked barley.

**Keywords:** Naked barley; Slow-release fertilizer; Yield; Nitrogen fertilizer agronomic efficiency; Quality

裸大麦又称青稞、元麦和米麦,富含膳食纤维、 $\beta$ -葡聚糖、酚类、类黄酮等多种营养和功能成分,具有降血脂、降血糖、降胆固醇、抗氧化等功效,其产量和品质对于改善人类健康、保障粮食安全具有重要意义<sup>[1-3]</sup>。裸大麦常规施氮一般采用基肥、苗肥、拔节肥和孕穗肥多次施肥的方式,费时、费工且成本较高,难以满足现代裸大麦生产要求<sup>[4]</sup>。探究适宜裸大麦机械化生产的施肥模式,对提高裸大麦的产量和品质、推动裸大麦产业高质量发展势在必行。

与常规氮肥相比,缓释肥养分释放速度较慢且可控,具有省工、省时、氮肥利用率高和环境友好的优点,已被广泛应用于多种作物的生产<sup>[5-6]</sup>。研究发现,施用缓释肥能提高作物的产量和品质,其肥效与作物类型、缓释肥类型及运筹方式等有关<sup>[7-9]</sup>。相较于硫膜控释尿素,树脂膜控释尿素对小麦的增产效果更好,氮肥利用率更高<sup>[10]</sup>。相较于单一施用缓释肥或尿素,缓释肥与尿素配施能更好地提高作物的产量和氮肥利用率<sup>[11-13]</sup>。马泉等<sup>[8]</sup>认为,30%树脂包膜缓释肥与30%尿素基施、20%树脂包膜缓释肥与20%尿素返青期追施模式下,稻茬冬小麦的产量和氮肥农学效率最高。李敏等<sup>[14]</sup>指出,30%树脂膜控释尿素与30%普通尿素全部底施,小麦产量和氮肥利用率显著高于单一树脂膜控释尿素底施和单一普通尿素底施。马泉等<sup>[15]</sup>报道,硫包膜尿素60%基施加40%返青期追施的施肥模式下小麦产量高于硫包膜尿素一次性基施。金鑫等<sup>[16]</sup>也发现,相较缓释肥一次

性基施,缓释肥60%基施加40%返青期追施的施肥模式下3个大麦品种的穗数和千粒重均增加,产量也显著提高。

而有关缓释肥在裸大麦上应用的研究鲜见报道。因此,本研究以江苏主栽裸大麦品种苏裸麦2号为材料,选用树脂包膜缓释肥和普通尿素两种氮肥,分析缓释肥与尿素不同运筹方式对裸大麦生育期、产量和营养品质等的影响,以筛选出经济高效的缓释肥施用模式,为裸大麦高产优质高效栽培提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验地概况

试验于2020—2021年在江苏省南通市如皋市郭园镇薛窑社区试验基地(120.87°E、32.01°N)进行。试验田块前茬为水稻,土质为沙壤土,土壤耕层含有机质24.45 g·kg<sup>-1</sup>,总氮0.16 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮128.8 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷24.99 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾91.67 mg·kg<sup>-1</sup>,pH值7.94。

### 1.2 试验材料与amp;设计

以江苏主栽裸大麦品种苏裸麦2号为材料,以汉枫缓释肥料(江苏)有限公司生产的含氮量40%的树脂包膜缓释肥(PCU)和江苏灵谷化工股份有限公司生产的含氮量46%的尿素(U)为供试氮源。设置8个施肥模式(处理), $T_1$ :100%PCU基施; $T_2$ :75%PCU+25%U基施; $T_3$ :50%PCU+50%U基施; $T_4$ :25%PCU+75%U基施; $T_5$ :100%U基施; $T_6$ :60%PCU基施+

40% PCU 返青期追施;CK:100%U 分施(基肥:苗肥:拔节肥:孕穗肥为 50:10:25:15);CK<sub>0</sub>:不施氮肥,仅用于计算氮肥农学效率。每个施肥模式重复 3 次,随机区组排列。于 2020 年 11 月 12 日播种,小区面积为 12.4 m<sup>2</sup>(6.2 m×2.0 m),行距 0.25 m,基本苗为 2.25×10<sup>6</sup>·hm<sup>-2</sup>。所有小区的 P、K 施用量为 90 kg·hm<sup>-2</sup>,于播种前基施。除 CK<sub>0</sub> 模式外,其余施肥模式纯氮用量均为 210 kg·hm<sup>-2</sup>。施肥方式均为撒施,其他管理措施同当地大田生产。

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 茎蘖数及生育期调查

每个施肥模式第一和第二重复选取两段长度 1 m 且长势均匀的麦苗标记,于苗期、拔节期和成熟期调查茎蘖数。并调查不同施肥模式裸大麦的始穗期、齐穗期和生育期。

#### 1.3.2 产量及其构成因素测定和氮肥农学效率计算

于小麦成熟期各小区随机选取 20 穗,考察穗粒数。按小区收获,计算产量,测千粒重。按公式计算氮肥农学效率,氮肥农学效率=(施氮区籽粒产量-未施氮区籽粒产量)/施氮量。

#### 1.3.3 品质性状测定

粗蛋白含量使用凯氏半微量定氮法测定。总淀粉含量使用酶解法测定,直链淀粉含量使用双

波长比色法测定,支链淀粉含量=总淀粉含量-直链淀粉含量。

总膳食纤维含量依据 GB 5009.88-2014 中食品中膳食纤维的测定方法进行。可溶性膳食纤维依据 GB/T 37492-2019 中谷物及其制品水溶性膳食纤维的测定(酶重量法)进行。

### 1.4 数据统计

利用 Excel 2016 进行数据处理,利用 SPSS 21.0 进行差异显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施肥模式对裸大麦茎蘖数和生育期的影响

由表 1 可知,T<sub>6</sub> 处理拔节期的茎蘖数最多,为 1 041×10<sup>4</sup>·hm<sup>-2</sup>,较 CK 提高了 2.36%,但二者间差异不显著。T<sub>1</sub> 处理成熟期的茎蘖数和成穗率均最高,分别是 585×10<sup>4</sup>·hm<sup>-2</sup> 和 56.41%,较 CK 提高了 3.72%和 1.71%,但差异均不显著。T<sub>5</sub> 处理成熟期的茎蘖数和成穗率均最低,且拔节期的茎蘖数也较少,说明 T<sub>5</sub> 处理不能满足裸大麦全生育期氮素的需求,不利于分蘖和有效穗的形成。T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理较 CK 分别早熟 5、6、8 和 4 d,差异均显著。T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理的生育期依次缩短,推测随着一次性基施模式中缓释肥施用比例的下降,后期养分供应不足,导致裸大麦提早成熟。

表 1 不同施肥模式对裸大麦茎蘖数及生育期的影响

Table 1 Effects of different fertilization models on tillers number and growth period of naked barley

| 模式<br>Model     | 茎蘖数 Stem number/(×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) |                 |                 | 成穗率<br>Seed-setting<br>rate/% | 始穗期<br>Initial heading<br>period/d | 齐穗期<br>Full heading<br>period/d | 生育期<br>Growth<br>period/d |
|-----------------|---|-----------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
|                 | 苗期<br>Seedling  | 拔节期<br>Jointing | 成熟期<br>Maturity |                               |                                    |                                 |                           |
| T <sub>1</sub>  | 225a  | 1 037a          | 585a            | 56.41a                        | 142a                               | 149a                            | 192a                      |
| T <sub>2</sub>  | 225a  | 1 018a          | 549a            | 53.93a                        | 143a                               | 149a                            | 192a                      |
| T <sub>3</sub>  | 225a  | 1 026a          | 539a            | 52.53ab                       | 142a                               | 149a                            | 187b                      |
| T <sub>4</sub>  | 225a  | 937a            | 525a            | 56.03a                        | 142a                               | 149a                            | 186bc                     |
| T <sub>5</sub>  | 225a  | 982a            | 504a            | 51.32ab                       | 142a                               | 148b                            | 184c                      |
| T <sub>6</sub>  | 225a  | 1 041a          | 567a            | 54.47a                        | 140b                               | 145c                            | 188b                      |
| CK              | 225a  | 1 017a          | 564a            | 55.46a                        | 142a                               | 149a                            | 192a                      |
| CK <sub>0</sub> | 225a  | 592b            | 226b            | 38.18b                        | 138c                               | 141d                            | 180d                      |

同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

Values followed by different lowercase letters are significantly different at the 0.05 level. The same in tables 2 and 3.

### 2.2 施肥模式对裸大麦产量及其构成因素和氮肥农学效率的影响

由表 2 可知,不同施肥模式下,裸大麦产量和氮肥农学效率均表现为 T<sub>6</sub>>CK>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>1</sub>>

T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>,T<sub>6</sub> 处理的产量和氮肥农学效率为 5 520 kg·hm<sup>-2</sup> 和 16.83 kg·kg<sup>-1</sup>,较 CK 提高了 2.35%和 2.12%,但差异均不显著。氮肥一次性基施模式下,T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub> 和 T<sub>5</sub> 处理的产量和氮肥农

学效率均低于 CK,其中 T<sub>5</sub> 处理的产量和氮肥农学效率较 CK 分别下降了 13.53%和 22.63%,差异显著(P<0.05)。从产量构成因素看,穗数大小依次表现为 T<sub>1</sub>>T<sub>6</sub>>CK>T<sub>2</sub>>T<sub>3</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>5</sub>,穗粒数大小依次表现为 T<sub>3</sub>>T<sub>2</sub>>CK>T<sub>4</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>6</sub>>T<sub>5</sub>,千粒重大小依次表现为 T<sub>6</sub>>T<sub>5</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>4</sub>>T<sub>1</sub>>T<sub>3</sub>>CK,说明穗数和千粒重的增加是 T<sub>6</sub> 处理增产的主要原因,穗数和穗粒数的下降是造成 T<sub>5</sub> 处理产量显著下降的关键因素;在氮肥一次性基施的模式下,随着缓释肥施用比例的提高,裸大麦的穗数提高,而穗粒数呈现先上升后下降的趋势;与尿素分施相比,缓释肥的施用更有利于裸大麦籽粒千粒重的提高。

2.3 施肥模式对裸大麦营养品质的影响

由表 3 可知,施肥模式对粗蛋白含量、总淀粉含量、直链淀粉含量、支链淀粉含量和可溶性膳食纤维含量均有显著效应(P<0.05),对总膳食纤维含量无显著影响。不同施肥模式下,仅 T<sub>6</sub> 处理的粗蛋白含量高于 CK,为 127.04 mg·g<sup>-1</sup>,较 CK 提高了 5.66%,但差异不显著。缓释肥处理

下裸大麦的总淀粉含量和支链淀粉含量均高于 CK,其中 T<sub>2</sub> 和 T<sub>1</sub> 处理的总淀粉含量均较 CK 显著提高,分别提高了 4.75%和 4.31%;T<sub>3</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>1</sub> 处理的支链淀粉含量显著高于 CK,其中 T<sub>3</sub> 处理的支链淀粉含量最高为 39.52%,较 CK 提高了 10.80%。缓释肥处理下裸大麦的直链淀粉含量和总膳食纤维含量均低于 CK,其中 T<sub>3</sub> 处理的直链淀粉含量最低,为 14.12%,较 CK 下降了 6.31%,差异显著;T<sub>1</sub> 处理的总膳食纤维含量最低,为 14.82%,较 CK 下降了 2.04%,差异不显著。不同施肥模式下可溶性膳食纤维含量大小依次表现为 T<sub>3</sub>>T<sub>5</sub>>T<sub>4</sub>>CK>T<sub>6</sub>>T<sub>2</sub>>T<sub>1</sub>,其中 T<sub>3</sub> 处理的可溶性膳食纤维含量为 9.52 g·(100 g)<sup>-1</sup>,较 CK 提高了 22.21%,但差异不显著。在氮肥一次性基施的模式下,随着缓释肥施用比例的减少,粗蛋白含量、支链淀粉含量和总膳食纤维含量表现为先上升后下降,分别在 T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub> 和 T<sub>4</sub> 处理达到峰值;直链淀粉含量表现为先下降后上升,T<sub>3</sub> 处理表现最低。T<sub>3</sub> 处理的支链淀粉含量和可溶性膳食纤维含量最高。

表 2 不同施肥模式对裸大麦产量及其构成因素和氮肥农学效率的影响

Table 2 Effects of different fertilization models on yield, yield component, and nitrogen fertilizer agronomic efficiency of naked barley

| 模式 Model        | 产量 Yield/(kg·hm <sup>-2</sup> ) | 穗数 Panicle number/(×10 <sup>4</sup> ·hm <sup>-2</sup> ) | 穗粒数 Spikelet number | 千粒重 1 000-grain weight/g | 较 CK± Compare to CK/% | 位次 Rank | 氮肥农学效率 Nitrogen fertilizer agronomic efficiency/(kg·kg <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|---------------------------------|---|---------------------|--------------------------|-----------------------|---------|--|
| T <sub>1</sub>  | 5 250ab                         | 585.00a   | 27.81ab             | 40.81ab                  | -2.61                 | 5       | 15.55ab  |
| T <sub>2</sub>  | 5 340ab                         | 549.00a   | 28.88a              | 41.26ab                  | -1.01                 | 3       | 15.96a   |
| T <sub>3</sub>  | 5 300ab                         | 539.00a   | 28.96a              | 40.49ab                  | -1.69                 | 4       | 15.79a   |
| T <sub>4</sub>  | 4 950bc                         | 525.00a   | 28.05ab             | 40.94ab                  | -8.14                 | 6       | 14.13bc  |
| T <sub>5</sub>  | 4 660c                          | 504.00a   | 27.30b              | 41.78ab                  | -13.53                | 7       | 12.75c   |
| T <sub>6</sub>  | 5 520a                          | 567.00a   | 27.79ab             | 42.70a                   | 2.35                  | 1       | 16.83a   |
| CK              | 5 390a                          | 564.00a   | 28.38ab             | 40.42ab                  | -                     | 2       | 16.48a   |
| CK <sub>0</sub> | 1 990d                          | 226.00b   | 21.79c              | 40.01b                   | -                     | 8       | -  |

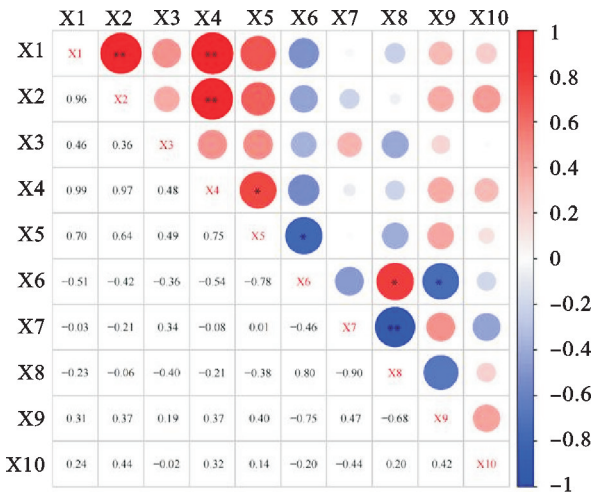
表 3 不同施肥模式对裸大麦营养品质的影响

Table 3 Effects of different fertilization models of slow-release fertilizer on nutritional quality of naked barley

| 模式 Model        | 粗蛋白含量 Crude protein content/(mg·g <sup>-1</sup> ) | 总淀粉含量 Total starch content/% | 直链淀粉含量 Amylose content/% | 支链淀粉含量 Amylopectin content/% | 总膳食纤维含量 Total dietary fiber content/% | 可溶性膳食纤维含量 Soluble dietary fiber content/[g·(100 g) <sup>-1</sup> ] |
|-----------------|---|------------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|
| T <sub>1</sub>  | 107.37cd  | 54.46ab                      | 18.84ab                  | 35.62abc                     | 14.82a                                | 6.81b  |
| T <sub>2</sub>  | 114.59bc  | 54.90ab                      | 15.74bc                  | 39.16a                       | 15.43a                                | 7.46ab   |
| T <sub>3</sub>  | 110.71c   | 53.64abc                     | 14.12c                   | 39.52a                       | 15.80a                                | 9.52a  |
| T <sub>4</sub>  | 100.03de  | 54.23abc                     | 20.61a                   | 33.62abcd                    | 16.40a                                | 7.94ab   |
| T <sub>5</sub>  | 98.38ef   | 53.85abc                     | 21.09a                   | 32.76bcd                     | 15.94a                                | 8.05ab   |
| T <sub>6</sub>  | 127.04a   | 50.91bc                      | 21.31a                   | 29.60cd                      | 16.17a                                | 7.68ab   |
| CK              | 120.23ab  | 50.15c                       | 21.43a                   | 28.72d                       | 16.86a                                | 7.79ab   |
| CK <sub>0</sub> | 90.91f  | 55.65a                       | 19.18ab                  | 36.47ab                      | 15.20a                                | 7.09b  |

### 2.4 裸大麦产量性状和营养品质指标的相关性分析

由图 1 可知,本试验条件下,裸大麦的产量与穗数和穗粒数呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与粗蛋白含量呈显著正相关( $P < 0.05$ );与千粒重、总膳食纤维含量和可溶性膳食纤维呈正相关,与总淀粉含量、直链淀粉含量和支链淀粉含量呈负相关,但相关性均不显著。裸大麦的穗数与穗粒数呈极显著正相关;总淀粉含量与支链淀粉含量呈显著正相关,与粗蛋白含量和总膳食纤维含量呈显著负相关;直链淀粉含量与支链淀粉含量呈极显著负相关。综上,穗数、穗粒数和粗蛋白含量可作为选育高产裸大麦品种的指导目标性状。



X1: 穗数; X2: 穗粒数; X3: 千粒重; X4: 产量; X5: 粗蛋白含量; X6: 总淀粉含量; X7: 直链淀粉含量; X8: 支链淀粉含量; X9: 总膳食纤维含量; X10: 可溶性膳食纤维含量。\* :  $P < 0.05$ ; \*\* :  $P < 0.01$ 。

X1: Panicle number; X2: Spikelet number; X3: 1 000-grain weight; X4: Yield; X5: Crude protein content; X6: Total starch content; X7: Amylose content; X8: Amylopectin content; X9: Total dietary fiber content; X10: Soluble dietary fiber content. \* :  $P < 0.05$ ; \*\* :  $P < 0.01$ 。

图 1 农艺性状及营养品质的相关性

Fig. 1 Correlation of agronomic traits and nutritional quality

## 3 讨论

### 3.1 缓释肥运筹方式对裸大麦茎蘖动态和生育期的影响

适宜的穗数和较高的成穗率是麦类作物高产的重要群体指标,而群体结构的构建与氮素营养密切相关<sup>[17-19]</sup>。本研究发现,随着氮肥一次性基施中缓释肥施用比例的增加,裸大麦成熟期

的茎蘖数增加,100%U 基施处理下裸大麦的有效穗数和成穗率均最低,表明同尿素相比,缓释肥一次性基施更有利于提高作物的分蘖成穗率,这与谭德水等<sup>[20]</sup>的研究结果一致。T<sub>1</sub> 处理成熟期的茎蘖数和成穗率最高,单一缓释肥施用对裸大麦分蘖成穗率的提高效果优于缓释肥和尿素配施,而王玉红等<sup>[21]</sup>研究发现,由于尿素弥补了缓释肥前期速效养分释放慢的缺点,缓释肥与尿素配施较单一缓释肥施用更有利于提高水稻的分蘖数和成穗率。这可能是与缓释肥类型和作物品种有关,后续应探究更多类型缓释肥对不同裸大麦群体结构的影响。氮肥类型、施氮量和氮肥运筹方式是影响作物生育进程的重要因素,生育期在很大程度上决定作物的产量<sup>[22]</sup>。本研究发现,随着一次性基施模式中尿素施用量的增加,裸大麦提前成熟,这可能是由于尿素养分释放快,造成裸大麦后期生长缺乏氮素供应,生育期缩短。T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub> 和 T<sub>6</sub> 处理均显著早于 CK 成熟,这可能是由于常规尿素分施处理导致裸大麦后期氮素供应较多,造成植株生育期延长。

### 3.2 缓释肥运筹方式对裸大麦产量及其构成因素和氮肥农学效率的影响

合理的缓释肥运筹方式有利于提高作物的群体质量,协调产量构成因素,进而提高产量和氮肥利用效率。由于作物的需肥特性和不同缓释肥养分释放规律的差异,适宜不同作物的缓释肥运筹方式也不同<sup>[23]</sup>。本研究发现,相较于其他施肥模式,60% PCU 基施+40% PCU 返青期追施处理可较好满足裸大麦生育期的氮素需求,有利于提高穗数和千粒重,其最终的产量和氮肥农学效率最高。研究发现,缓释肥两次施用能促进作物后期的氮素积累和氮素向籽粒的转运,进而提高产量和氮肥利用效率<sup>[7]</sup>。金鑫等<sup>[16]</sup>也发现,硫包衣尿素一基一追有利于大麦增产,而增长的原因在于穗粒数和千粒重的提高。与本研究结果不同,原因可能与供试大麦品种和所使用的树脂膜控释尿素和硫包衣缓释肥的养分释放规律不一致有关。肥料一次性施用省去了追肥的过程,具有省时、省工和提高经济效益等优点,越来越多应用在水稻和玉米等大田作物中<sup>[24-26]</sup>。本研究发现,氮源一次性基施模式下裸大麦的产量和氮肥农学效率均低于 CK,这可能是由于缓释肥一次性基施难以满足裸大麦全生育期的氮素需求,造成后期氮素不足。但 T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> 和 T<sub>3</sub> 处理较 CK 减产并不

显著,因此可进一步探究适用于裸大麦简化生产的缓释肥一次性基施模式和类型,以减少种植过程中的时间和人工成本,提高种植收益。

### 3.3 缓释肥运筹方式对裸大麦营养品质的影响

不同缓释肥运筹方式对作物品质影响较大,且由于作物类别、缓释肥类型和品种的差异,适合不同作物优质生产的施肥模式也不尽相同。前人已在水稻、小麦等大田作物上开展了缓释肥运筹方式对作物品质影响的研究,如李丽等<sup>[7]</sup>发现,缓释肥一次性基施有利于弱筋小麦品质的形成;董晓亮等<sup>[22]</sup>指出,减氮20%下缓释肥与无机肥配施能提高水稻的食味品质;马泉等<sup>[27]</sup>报道,缓释肥一基一追有利于强筋小麦产量和品质的协同提升。直链淀粉含量、支链淀粉含量和可溶性膳食纤维含量是评价裸大麦营养品质的重要指标。前人研究发现,直链淀粉含量越低,粮食作物的食味品质越好;支链淀粉含量越高,越有利于提高青稞酒的出酒率<sup>[22,28]</sup>。可溶性膳食纤维可以维持膳食平衡,具有降低血脂含量、预防结肠癌、心血管疾病等功能<sup>[29-30]</sup>。本研究发现,50% PCU+50% U基施模式下裸大麦的直链淀粉含量最低为14.12%,支链淀粉含量最高为39.52%,可溶性膳食纤维含量最高为9.52 g·(100)g<sup>-1</sup>。因此,50% PCU+50% U基施的施肥模式更适用于优质裸大麦的生产。

## 4 结论

本试验条件下,纯氮用量为210 kg·hm<sup>-2</sup>,60% PCU基施加40% PCU返青期追施的模式下裸大麦的产量和氮肥农学效率最高;50% PCU+50% U基施模式下裸大麦的直链淀粉含量最低,支链淀粉含量和可溶性膳食纤维含量最高,整体品质表现最好。

### 参考文献:

[1] 吴雨晴,张佳琪,范蓓,等. 加工对青稞营养成分及生物活性影响的研究进展[J]. 食品工业科技,2024,45(5):8.  
WU Y Q,ZHANG J Q,FAN B,et al. Research progress on the effects of processing on nutrients and biological activity of highland barley [J]. *Science and Technology of Food Industry*,2024,45(5):8.

[2] BOZBULUT R,SANLIER N. Promising effects of  $\beta$ -glucans on glycaemic control in diabetes [J]. *Trends in Food Science & Technology*,2019,83:159.

[3] 李 赢,刘海翠,石 吕,等. 江苏裸大麦种质资源遗传多样性和群体结构分析[J]. 作物学报,2023,49(10):2687.  
LI Y,LIU H C,SHI L,et al. Genetic diversity and population structure analysis of naked barley germplasm resources in

Jiangsu province [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2023,49(10):2687.

[4] 严谈松,扎西罗布,唐亚伟,等. 密度和肥料运筹对青稞秸秆产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报,2023,43(7):933.  
YAN T S,ZHAXILUOBU,TANG Y W,et al. Effect of density and fertilizer management on yield and quality of highland barley straw [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2023,43(7):933.

[5] 翟彩娇,崔士友,张 蛟,等. 缓/控释肥发展现状及在农业生产中的应用前景[J]. 农学学报,2022,12(1):22.  
ZHAI C J,CUI S Y,ZHANG J,et al. Development status of slow/controlled release fertilizers and their application prospects in agricultural production [J]. *Journal of Agriculture*,2022,12(1):22.

[6] 朱兆良,金继运. 保障我国粮食安全的肥料问题[J]. 植物营养与肥料学报,2013,19(2):259.  
ZHU Z L,JIN J Y. Fertilizer use and food security in China [J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*,2013,19(2):259.

[7] 李 丽,贾文欣,徐 昊,等. 缓释肥类型及其运筹方式对弱筋小麦产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报,2024,44(6):758.  
LI L,JIA W X,XU H,et al. Effects of types and application methods of slow-release fertilizer on yield and quality of weak-gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2024,44(6):758.

[8] 马 泉,唐紫妍,王梦尧,等. 树脂包膜缓释肥与尿素配施对稻茬冬小麦产量、氮肥利用率与效益的影响[J]. 麦类作物学报,2019,39(10):1202.  
MA Q,TANG Z Y,WANG M Y,et al. Effect of resin coated slow release fertilizer combined with urea on yield, nitrogen use efficiency and economic benefits of winter wheat following rice [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2019,39(10):1202.

[9] 魏海燕,李宏亮,程金秋,等. 缓释肥类型与运筹对不同穗型水稻产量的影响[J]. 作物学报,2017,43(5):730.  
WEI H Y,LI H L,CHENG J Q,et al. Effects of slow/controlled release fertilizer types and their application regime on yield in rice with different types of panicle [J]. *Acta Agronomica Sinica*,2017,43(5):730.

[10] 马富亮,宋付朋,高 杨,等. 硫膜和树脂膜控释尿素对小麦产量、品质及氮素利用率的影响[J]. 应用生态学报,2012,23(1):67.  
MA F L,SONG F P,GAO Y,et al. Effects of sulfur- and polymer-coated controlled release urea fertilizers on wheat yield and quality and fertilizer nitrogen use efficiency [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*,2012,23(1):67.

[11] 刘虹丹,刘文成,顾颖慧,等. 缓释肥配比与密度互作对冬小麦产量及品质的影响[J]. 麦类作物学报,2021,41(11):1374.  
LIU H D,LIU W C,GU Y H,et al. Effect of interaction of slow-release fertilizer and planting density on yield and quality of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*,2021,41(11):1374.

[12] 李晓敏,李英琪,何珍珍,等. 尿素和缓释肥混配深施对水稻产量和生理特性的影响[J]. 中国稻米,2023,29(5):85.  
LI X M,LI Y Q,HE Z Z,et al. Effects of urea and slow-release compound fertilizer ratio under deep placement on grain yield and physiological traits of rice [J]. *China Rice*,2023,29(5):85.

[13] 胡迎春,韩云良,施成晓,等. 氮肥减量下缓释肥和尿素配施对黄土高原春玉米氮素利用和产量效益的影响[J]. 西北农业学报,2019,28(7):1068.

- HU Y C, HAN Y L, SHI C X, *et al.* Improving nitrogen use efficiencies, yields and profits for spring maize by using mixtures of slow-release fertilizer and normal urea in Loess Plateau [J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2019, 28(7): 1068.
- [14] 李敏, 郭熙盛, 叶舒娅, 等. 树脂膜控释尿素及普通尿素配施对强筋小麦产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(2): 339.
- LI M, GUO X S, YE S Y, *et al.* Effects of combined application of polymer-coated controlled release urea and common urea on yield, quality and fertilizer nitrogen use efficiency of strong gluten wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(2): 339.
- [15] 马泉, 王梦尧, 孙全, 等. 硫包膜尿素施用模式对稻茬冬小麦产量、氮肥利用率和效益的影响[J]. 核农学报, 2021, 35(4): 942.
- MA Q, WANG M Y, SUN Q, *et al.* Effects of application modes of sulfur coated urea on yield, nitrogen use efficiency and benefit of winter wheat following rice [J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(4): 942.
- [16] 金鑫, 李长亚, 王春吉, 等. 缓释氮肥减量配施对不同品种大麦产量的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2021(4): 34.
- JIN X, LI C Y, WANG C J, *et al.* Effects of reduced application rates of slow-release nitrogen fertilizer on the yields of three barley varieties [J]. *Barley and Cereal Sciences*, 2021(4): 34.
- [17] 张明伟, 马泉, 丁锦峰, 等. 稻茬晚播小麦高产群体特征分析[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(4): 445.
- ZHANG M W, MA Q, DING J F, *et al.* Characteristic of late sowing high-yielding wheat population in rice-wheat rotation [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2018, 38(4): 445.
- [18] 杨佳凤, 丁锦峰, 顾后文, 等. 密肥组合对稻茬晚播小麦籽粒产量和效益的影响[J]. 麦类作物学报, 2013, 33(3): 503.
- YANG J F, DING J F, GU H W, *et al.* Effects of the combination of density and nitrogen fertilizer on grain yield and economic efficiency of late-sown wheat under rice stubble [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(3): 503.
- [19] 王茹芳, 张夫道, 刘秀梅, 等. 胶结型缓释肥在小麦上应用效果的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 340.
- WANG R F, ZHANG F D, LIU X M, *et al.* Responses of wheat to felted slow-release fertilizer [J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2005, 11(3): 340.
- [20] 谭德水, 江丽华, 房灵涛, 等. 控释氮肥一次施用对小麦群体调控及养分利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2016, 36(11): 1523.
- TAN D S, JIANG L H, FANG L T, *et al.* Effect of controlled-release nitrogen fertilizer on group regulation and nutrient utilization of winter wheat [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2016, 36(11): 1523.
- [21] 王玉红, 王长松, 陈莉萍, 等. 树脂包膜尿素在水稻上的应用效果[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(9): 126.
- WANG Y H, WANG C S, CHEN L P, *et al.* Application effect of resin coated urea on rice [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(9): 126.
- [22] 董晓亮, 侯红燕, 张金凤, 等. 缓释肥和无机肥配施对滨海盐碱地水稻生长和食味品质的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(4): 1.
- DONG X L, HOU H Y, ZHANG J F, *et al.* Effects of combined application of slow-release fertilizer and inorganic fertilizer on rice growth and eating quality in coastal saline alkaline land [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(4): 1.
- [23] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 307.
- XU X J, MA H B, NING Y W, *et al.* Effects of slow-released nitrogen fertilizers with different application patterns on crop yields and nitrogen fertilizer use efficiency in rice-wheat rotation system [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2016, 22(2): 307.
- [24] 石纹璇, 谭金芳, 张倩, 等. 一次性施肥对不同生态区夏玉米产量和氮肥效率的影响[J]. 中国农业科技导报, 2024, 26(9): 193.
- SHI W X, TAN J F, ZHANG Q, *et al.* Effect of one-off fertilization on yield and nitrogen fertilizer efficiency of summer maize in different ecological regions [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2024, 26(9): 193.
- [25] 孙东旭, 马晓晓, 商启寰, 等. 水基聚合物包膜尿素实现山东夏玉米氮肥减施和一次性基施[J]. 植物营养与肥料学报, 2023, 29(5): 912.
- SUN D X, MA X X, SHANG Q H, *et al.* Applying waterborne polymer coated urea to realize input reduction and one-time basal application of nitrogen fertilizer in summer maize production in Shandong Province [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2023, 29(5): 912.
- [26] 卞文新, 马晓晓, 孙东旭, 等. 包膜氮肥一次性减量施用对冬小麦产量和氮素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(10): 1840.
- BIAN W X, MA X X, SUN D X, *et al.* Effects of coated nitrogen fertilizer under one-time reduced application on yield and nitrogen use efficiency of winter wheat [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2022, 28(10): 1840.
- [27] 马泉, 蒋文月, 张新铤, 等. 硫包膜缓释肥运筹方式对强筋小麦氮素积累转运、产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2022, (8): 148.
- MA Q, JIANG W Y, ZHANG X B, *et al.* Effect of sulfur coated slow-released fertilizer managements on nitrogen accumulation and translocation, yield and quality of strong gluten wheat [J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2022, (8): 148.
- [28] 梁丽静, 王松涛, 贾俊杰, 等. 不同青稞籽粒品质特性与酿酒品质关系分析[J]. 食品科学, 2022, 43(23): 27.
- LIANG L J, WANG S T, JIA J J, *et al.* Relationship between grain quality traits and fermentation quality of xiaoqu liquor from different hullless barley cultivars [J]. *Food Science*, 2022, 43(23): 27.
- [29] 李成彪, 张文刚, 张杰, 等. 青稞可溶性膳食纤维提取工艺优化及理化性质研究[J]. 农产品加工, 2023, (7): 50.
- LI C B, ZHANG W G, ZHANG J, *et al.* Effects of slow-released nitrogen fertilizers with different application patterns on crop yields and nitrogen fertilizer use efficiency in rice-wheat rotation system [J]. *Farm Products Processing*, 2023, (7): 50.
- [30] 罗磊, 张宽, 王雅琪, 等. 黑小麦麸皮可溶性膳食纤维的提取及其功能性质研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(3): 13.
- LUO L, ZHANG K, WANG Y Q, *et al.* Extraction of soluble dietary fiber from black wheat bran and its functional properties [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(3): 13.