

网络出版时间:2026-01-12

网络出版地址:https://link.cnki.net/urlid/61.1359.S.20260112.0915.002

不同聚丙烯酸钾施用量对黑青稞籽粒灌浆特性、产量及其构成因素的影响

漆文静¹, 黄慧云¹, 付甜甜¹, 张毅¹, 许明龙², 冯西博¹

(1. 西藏农牧大学植物科学学院, 西藏林芝 860000; 2. 察雅县宗沙乡人民政府 西藏昌都 854000)

摘要:为了探明聚丙烯酸钾(K-PAM)施用量对黑青稞籽粒灌浆特性及产量形成的影响,以黑青稞品种六棱为材料,采用随机区组设计,设置0、6、12、18和24 kg·hm⁻²共5个K-PAM施用量(分别记为CK、T1、T2、T3、T4)进行大田试验。结果表明,与CK相比,施用K-PAM能显著提升黑青稞千粒重,T1、T2、T3和T4处理的千粒重分别提高0.92%、10.64%、5.27%和8.03%。T2处理下黑青稞最大灌浆速率 $R_{\max}$ 显著高于CK,增幅为7.56%,籽粒产量、有效穗数和穗粒数分别提高了17.61%、20.92%和22.42%。施用K-PAM有助于黑青稞籽粒灌浆,促进穗数、穗粒数和千粒重的协同提升,增加籽粒产量。在本试验条件下,K-PAM最佳施用量为12 kg·hm⁻²。

关键词:黑青稞;聚丙烯酸钾;灌浆速率;千粒重;产量

中图分类号:S512.3;S311

文献标识码:A

文章编号:1009-1041(2026)03-0368-06

Effects of Different Potassium Polyacrylate Application Rates on Grain Filling Characteristics, Yield and its Components of Black Highland Barley

QI Wenjing¹, HUANG Huiyun¹, FU Tiantian¹, ZHANG Yi¹, XU Minglong², FENG Xibo¹

(1. Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, College of Plant Sciences, Nyingchi, Tibet 860000, China;

2. Zongsha Township People's Government of Chaya County, Changdu, Tibet 854000, China)

Abstract: To investigate the effects of potassium polyacrylate(K-PAM) application rates on the grain filling characteristics and yield formation of black hulless barley, a randomized block design was employed using the black hulless barley variety Liuling as the test material. Five K-PAM application rates(0, 6, 12, 18, and 24 kg·hm⁻², labeled as CK, T1, T2, T3, and T4, respectively) were carried out for field experiment. The results indicated that, compared with CK, application of K-PAM significantly increased the 1 000-grain weight of black hulless barley, with the increase rate of 0.92%, 10.64%, 5.27%, and 8.03% for T1, T2, T3, and T4 treatments, respectively. Under the T2 treatment, the maximum grain filling rate($R_{\max}$) of black hulless barley was significantly higher than that of CK, with an increase rate of 7.56%, grain yield was increased by 17.61%, the number of effective panicles was increased by 20.92%, and grains per panicle was increased by 22.42%. Thus, the application of K-PAM may help black Highland barley seeds to fill, promote the synergistic enhancement of panicle number, panicle grains number and grain weight, and increase grain yield. Under the conditions of this experiment, the optimal application rate of K-PAM is 12 kg·hm⁻².

收稿日期:2025-04-09

修回日期:2025-05-06

基金项目:国家自然科学基金项目(32060482);西藏自治区重大科技专项青稞新品种(系)培育项目(XZ202101ZD0004N-03);西藏自治区中央引导地方科技项目(XZ202202YD0025C);西藏特色农牧资源研发省部共建协同创新中心—作物方向研究项目(XZTSZY202001);西藏自治区重点研发计划项目(YDZX20195400004717);高原作物学创新团队建设项目(XZN-MXYRCDWJS-2024-11)

第一作者 E-mail:1906212287@qq.com(漆文静)

通讯作者 E-mail:fxb750217@126.com(冯西博)

Keywords: Black highland barley; K-PAM; Grouting rate; 1 000-grain weight; yield

青稞 (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.) 是中国青藏高原主要粮食作物之一,也是牲畜饲料的主要原料^[1-3],其种植面积仅次于玉米、水稻以及小麦。根据籽粒颜色可将青稞分为蓝、白、黑、紫等^[4]。其中,黑青稞营养成分最高,其蛋白质、铁、锌、磷、钙、花青素等物质的含量均高于其他粒色青稞^[5-6]。然而,受西藏的自然环境条件和栽培措施的限制,黑青稞产量普遍较低,探索适宜的高产栽培技术体系具有重要意义。

聚丙烯酸钾(K-PAM)是一种高分子保水改良剂,能显著提高土壤的持水能力,改良土壤结构,从而促进植物生长,增加产量^[7-9]。此外,K-PAM具有增强作物光合作用、提高抗旱性与抗逆性的潜力。研究表明,施用K-PAM可显著提升燕麦株高、干物质积累、籽粒产量及水分利用效率^[10];K-PAM还能提高烤烟的产量、产值、上等烟比例及净增产值^[11-12];适量的K-PAM可有效减缓小麦的衰老,提高小麦光合作用,从而使小麦增产^[13]。

籽粒灌浆是影响青稞产量形成的关键阶段^[14]。黑青稞的灌浆速率主要受遗传因素调控,但也受田间管理和气候条件影响^[15],而灌浆持续期主要由环境因素决定^[16-17]。目前有关黑青稞籽粒灌浆的研究内容主要集中在磷、氮肥及其配施措施等方面^[15-16,18-19],尚无关于K-PAM调控黑青稞籽粒灌浆特性的系统分析。本研究探讨K-PAM施用量对黑青稞灌浆过程、千粒重及产量形成的影响,筛选适宜的K-PAM施用量,为青藏高原地区黑青稞高产稳产、优化施肥策略提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于西藏山南市隆子县忙措村(28°25′19″N, 92°24′13″E)进行,该地区海拔 3 771 m,属高原温带半干旱性季风气候区,生育期内年均气温 5.6 °C,日照时数 2 995.3 h,无霜期 238.3 d,降水量 297.41 mm。播前土壤 pH 值 8.21,有机质含量 14.59 g·kg⁻¹,全氮含量 0.85 g·kg⁻¹,有效磷含量 6.21 mg·kg⁻¹,速效钾含量 115.37 mg·kg⁻¹。

1.2 实验设计

试验采用随机区组设计,设置 K-PAM 施用量 0 kg·hm⁻²(CK)、6 kg·hm⁻²(T1)、12 kg·hm⁻²(T2)、18 kg·hm⁻²(T3)和 24 kg·hm⁻²(T4)5 个水平,每处理 3 次重复,共 15 个小区,小区面积 16.2 m²(10.8 m×1.5 m)。供试青稞品种为六棱,由西藏山南隆子县农业农村局提供。基施纯 N 135 kg·hm⁻²、K₂O 135 kg·hm⁻²、P₂O₅ 135 kg·hm⁻²,基肥与 K-PAM 混合均匀后于播前一次性施入。青稞于 2024 年 4 月 7 日条播,行距 30 cm,2024 年 9 月 11 日收获。灌水在黑青稞 3~4 叶期、拔节前后、孕穗—抽穗期和灌浆初期进行,田间管理与当地大田一致。

1.3 测定项目与方法

于青稞开花期选择同天开花、长势一致的穗子 750 穗(用吊牌对其进行标记),于灌浆期第 7 天起,每隔 7 d 取样 1 次,共取 5 次,每处理每次取 30 穗。样品于 105 °C 烘 20 min 后,70 °C 恒温烘至恒重,脱粒机脱粒后称重。参照东强等^[18]、王丽娜等^[20]的方法计算籽粒灌浆速率,对籽粒灌浆过程运用 Logistic 方程进行拟合。Logistic 方程为 $Y = K / (1 + A e^{-BT})$,其中 K 为理论最大千粒重, T 为时间, Y 为粒重, A 、 B 为方程参数。对该方程进行一阶、二阶求导,可得到一系列的次级灌浆参数:最大灌浆速率出现时间(T_{max})、最大灌浆速率(R_{max})、灌浆高峰期开始时间(T_1)、灌浆高峰期结束时间(T_2)、灌浆终止时间(T_3)、渐增期灌浆速率(R_1)、快增期灌浆速率(R_2)、缓增期灌浆速率(R_3)、渐增期持续时间(T_a)、快增期持续时间(T_b)、缓增期持续时间(T_c)。相关计算公式如下:

$$R_{max} = (K \times B) / 4$$

$$T_{max} = \ln(A) / B$$

$$T_1 = [\ln(A) - \ln(3.7321)] / B$$

$$T_2 = [\ln(A) + \ln(3.7321)] / B$$

$$T_3 = [\ln(A) + 4.59512] / B$$

$$T_a = T_1$$

$$T_b = T_2 - T_1$$

$$T_c = T_3 - T_2$$

$$R_1 = Y(T_1) / T_1$$

$$R_2 = [Y(T_2) - Y(T_1)] / (T_2 - T_1)$$

$$R_3=[Y(T_3)-Y(T_2)]/(T_3-T_2)$$

成熟期各小区分别收获 10 m² 的黑青稞,调查穗数、穗粒数及千粒重,计算产量。

1.4 数据处理

用 Excel 软件进行数据处理,用 Curve Expert 1.3 软件拟合 Logistic 方程,对相关灌浆参数与实际千粒重进行 Pearson 相关性分析。采用 DPS 进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 K-PAM 施用量对黑青稞千粒重动态变化的影响

黑青稞籽粒灌浆过程中千粒重变化如表 1 所示。整体上,灌浆过程可分为 3 个阶段:花后 0~14 d 为灌浆渐增期,14~28 d 为灌浆快增期,28~35 d 为灌浆缓增期。整个过程呈典型的“S”型增长曲线,表现出“慢—快—慢”的变化趋势。施用 K-PAM 处理的千粒重均高于 CK,且各处理在 3 个时期的千粒重均表现为 T2>T4>T3>T1>

CK。这说明,施用 K-PAM 可有效增加黑青稞的千粒重,其中以 T2 处理效果最佳。

2.2 K-PAM 施用量对黑青稞籽粒灌浆参数的影响

由表 2 可知,各处理灌浆方程的决定系数均大于 0.998,理论值与实测千粒重高度吻合,表明用 Logistic 方程对黑青稞籽粒灌浆过程的拟合性较好。从拟合结果看,黑青稞的理论千粒和实际千粒重均随 K-PAM 施用量的增加整体上呈先增后降趋势,其中 T₂ 处理显著高于其他处理。与 CK 相比,T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 处理下实际千粒重分别提高 0.92%、10.64%、5.27%和 8.03%。这说明适量施用 K-PAM 可显著促进黑青稞籽粒灌浆进程并提高千粒重,其中 T₂ 处理作用最显著。

2.3 K-PAM 施用量对黑青稞籽粒灌浆次级参数的影响

由表 3 可知,黑青稞籽粒灌浆快增期出现在花后 11 d 左右,缓增期出现在花后 23 d 左右,T_{max} 的变化范围为 16.65~17.89 d,且各处理不同阶段的灌浆速率大小均表现为 R₂>R₁>R₃。R_{max}

表 1 不同 K-PAM 施用量下的黑青稞千粒重动态变化
Table 1 Dynamic changes of 1 000-grain weight of black highland barley under different application rates of potassium polyacrylate

处理 Treatment	千粒重 1 000 grain weight/g				
	7 d	14 d	21 d	28 d	35 d
CK	3.18d	11.89e	25.03d	34.98c	36.84c
T1	3.56c	12.56d	25.97c	35.65bc	37.18c
T2	4.33a	14.87a	29.72a	36.88a	40.76a
T3	3.82bc	12.96c	28.16b	36.21ab	38.78b
T4	4.15ab	13.77b	28.45b	36.45ab	39.80ab

同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)。表 2、表 5 同。
Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among treatments(P<0.05). The same as in tables 2 and 5.

表 2 不同 K-PAM 施用量下黑青稞籽粒灌浆的 Logistic 方程及参数
Table 2 Logistic equation and parameters of black highland barley grain filling under different potassium polyacrylate application rates

处理 Treatment	模拟方程 Simulation equation	理论千粒重 Theoretical 1 000-grain weight/g	实际千粒重 Actual 1 000-grain weight/g	决定系数 Coefficient of determination
CK	$Y=37.94/(1+51.22\times e^{-0.22X})$	37.94c	36.84c	0.999
T1	$Y=38.28/(1+48.01\times e^{-0.22X})$	38.28c	37.18c	0.999
T2	$Y=40.81/(1+39.96\times e^{-0.22X})$	40.81a	40.76a	0.998
T3	$Y=39.26/(1+51.44\times e^{-0.23X})$	39.26b	38.78b	0.999
T4	$Y=40.23/(1+41.75\times e^{-0.22X})$	40.23ab	39.80ab	0.999

表 3 不同 K-PAM 施用量下黑青稞籽粒灌浆的次级参数

Table 3 Secondary parameters of black highland barley grain filling under different potassium polyacrylate application rates

处理 Treatment	$R_{\max}/$ ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$)	$T_{\max}/\text{d}$	T_1/d	T_2/d	T_3/d	T_a/d	T_b/d	T_c/d	$R_1/$ ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$)	$R_2/$ ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$)	$R_3/$ ($\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$)
CK	2.09	17.89	11.91	23.88	38.78	11.91	11.97	14.90	0.67	1.83	0.51
T1	2.11	17.60	11.61	23.58	38.48	11.61	11.97	14.90	0.70	1.85	0.52
T2	2.24	16.65	10.66	22.63	37.53	10.66	11.97	14.90	0.81	1.97	0.55
T3	2.26	17.13	11.41	22.86	37.11	11.41	11.45	14.25	0.73	1.98	0.55
T4	2.21	16.96	10.98	22.95	37.85	10.98	11.97	14.90	0.77	1.94	0.54

随 K-PAM 施用量的增加呈先增后降趋势,T3 处理下最大($2.26 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$),T2 次之($2.24 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$),CK 最小($2.09 \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}$)。T2 处理下 $T_{\max}$ 、 T_1 、 T_2 均最早出现,且 R_1 、 R_2 、 R_3 增长最快,相应的持续时间也最长。综合来看,施用 K-PAM 对黑青稞籽粒灌浆的次级参数、灌浆速率均有着不同程度的促进,在本试验条件下以 T2、T3 处理效果最为显著。

2.4 黑青稞籽粒灌浆参数与千粒重的相关性

对黑青稞籽粒灌浆的次级参数与实际千粒重进行 Pearson 相关性分析发现, R_1 与 Y 呈极显著正相关($P<0.01$); R_2 、 R_3 、 $R_{\max}$ 与 Y 呈显著正相关($P<0.05$)。 R_2 、 R_3 与 $R_{\max}$ 呈极显著正相关($P<0.01$); R_1 与 $R_{\max}$ 呈现正相关,但不显著($P>0.05$)。 T_1 、 T_2 、 T_a 与 $T_{\max}$ 呈极显著正相关; T_3 、 T_b 、 T_c 与 $T_{\max}$ 呈正相关,但不显著。因

此, $R_{\max}$ 、 R_1 、 R_2 、 R_3 是提高黑青稞千粒重的关键指标。

2.5 K-PAM 施用量处理下对黑青稞产量及其构成因子的影响

由表 5 可知,黑青稞的产量、有效穗数、千粒重和穗粒数随 K-PAM 施用量的增大均表现为先增后减趋势,且施用 K-PAM 处理与 CK 差异均显著(除之 T1 处理的千粒重外)。与 CK 相比, T_1 、 T_2 、 T_3 和 T_4 处理的籽粒产量分别提高 5.35%、17.61%、8.96% 和 11.22%,有效穗数分别增加 3.34%、20.92%、6.14% 和 14.05%,千粒重分别增加 0.92%、10.64%、5.27% 和 8.03%,穗粒数分别增加 6.04%、22.42%、15.23% 和 19.09%。由此可见,施用 K-PAM 可以增加黑青稞产量、有效穗数、千粒重和穗粒数,其中 T2 处理增产效果最为显著。

表 4 不同 K-PAM 施用量下黑青稞籽粒灌浆参数与实际粒重之间的相关性分析

Table 4 Correlation analysis between grain filling parameters and actual grain weight of black highland barley under different application rates of potassium polyacrylate

指标 Index	Y	$R_{\max}$	$T_{\max}$	T_1	T_2	T_3	T_a	T_b	T_c	R_1	R_2	R_3
Y	1											
$R_{\max}$	0.84*	1										
$T_{\max}$	-0.99**	-0.89*	1									
T_1	-0.98**	-0.75	0.97**	1								
T_2	-0.94**	-0.96**	0.98**	0.90*	1							
T_3	-0.74	-0.98**	0.81	0.65	0.92*	1						
T_a	-0.98**	-0.75	0.97**	1.00**	0.90*	0.65	1					
T_b	-0.04	-0.56	0.13	-0.11	0.34	0.69	-0.11	1				
T_c	-0.04	-0.56	0.13	-0.11	0.34	0.69	-0.11	1.00**	1			
R_1	0.99**	0.78	-0.98**	-1.00**	-0.92**	-0.68	-1.00**	0.06	0.06	1		
R_2	0.86*	1.00**	-0.91*	-0.78	-0.97**	-0.98**	-0.78	-0.53	-0.53	0.81	1	
R_3	0.88*	0.99**	-0.93**	-0.81*	-0.99**	-0.97**	-0.81*	-0.49	-0.49	0.84*	0.99**	1

* : $P<0.05$; * * : $P<0.01$.

表 5 不同 K-PAM 施用量下黑青稞产量及其构成因素

Table 5 Yield and its components of black highland barley under different application rates of potassium polyacrylate				
处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield/(kg·hm ⁻²)	有效穗数 Effective panicles/(×10 ⁴ ·hm ⁻²)	千粒重 1 000-rain weight/g	穗粒数 Grain number per ear
CK	4 818.32±50.04d	487.02±15.48d	36.84±0.79c	45.89±1.18d
T1	5 076.20±64.50c	503.28±9.32cd	37.18±0.35c	48.66±1.06c
T2	5 667.03±74.99a	588.89±7.41a	40.76±0.97a	56.18±1.62a
T3	5 250.28±80.81b	516.91±18.34c	38.78±0.46b	52.88±1.45b
T4	5 359.80±79.26b	555.45±14.43b	39.80±0.74ab	54.65±0.91ab

3 讨论

3.1 K-PAM 施用量对黑青稞籽粒灌浆特性的影响

籽粒灌浆过程是决定麦类作物产量形成的关键过程,其灌浆速率和灌浆持续时间共同决定了千粒重^[21-23]。本研究结果表明,黑青稞花后 0~14 d 为灌浆渐增期、14~28 d 为灌浆快增期、28~35 d 为灌浆缓增期,各个时期各处理千粒重均表现为“慢—快—慢”的“S”型增长趋势,与张杉等^[14]的研究结果一致。籽粒灌浆是同化物由源到库运输的过程,灌浆速率越高、灌浆持续时间越长,籽粒饱满度越高^[24]。相关性分析显示,渐增期灌浆速率与实际千粒重之间呈现极显著正相关($P<0.01$);快增期灌浆速率、缓增期灌浆速率、最大灌浆速率与实际千粒重呈现显著正相关($P<0.05$),灌浆高峰期开始时间、灌浆高峰期结束时间、渐增期持续时间与最大灌浆速率出现时间呈现极显著正相关($P<0.01$);灌浆终止时间、快增期持续时间、缓增期持续时间与最大灌浆速率出现时间呈现正相关,但未达到显著水平,这与窦克磊等^[23]的研究结果相似。本试验条件下,施用 K-PAM 可以有效提高黑青稞千粒重和最大灌浆速率,但过量施用会产生一定抑制效应。这可能与高分子 K-PAM 改善土壤结构、提高保水保肥能力、增强光合产物转运效率有关,这与李东海等^[25]、司徒艳结等^[26]的研究结果相似。本研究发现,快增期灌浆速率是提升黑青稞千粒重的极显著关键因素,最大灌浆速率、渐增期灌浆速率、缓增期灌浆速率是提升黑青稞千粒重的显著关键因素,这与周新等^[16]、张杉等^[19]的研究结果一致。因此,适度提高灌浆速率是提高黑青稞千粒重与产量的有效措施。

3.2 K-PAM 施用量对黑青稞产量及其构成因子的影响

作物产量是指产量构成的各因素(有效穗数、

穗粒数、千粒重)之间相互协同作用的结果^[27-28]。本研究发现,施用 K-PAM 显著提升了黑青稞的产量及其构成因素,与 CK 相比,T2 处理的产量、有效穗数、穗粒数及千粒重分别提高 17.61%、20.92%、22.42%和 10.64%。这一结果与王建武等^[25]对啤酒大麦及朱明霞等^[10]对青稞的研究结论一致,在高寒地区麦类作物产量提升中,穗粒数与千粒重是最为敏感的关键因子。K-PAM 通过改善根际环境、促进水肥吸收及光合产物积累,增强了灌浆速率与籽粒发育,从而协同提升了产量构成因素。本研究是基于单一品种和年度的田间试验,而试验田的水肥管理措施、气候环境差异均会对试验结果产生一定的影响。因此,未来应在多地点、多年度开展系统试验,以验证 K-PAM 对不同青稞品种产量形成的调控效应,为青藏高原高效稳产栽培提供科学依据。

4 结论

施用 K-PAM 可以显著提升黑青稞籽粒灌浆参数、有效穗数和穗粒数,进而提升黑青稞籽粒产量。在本试验条件下,K-PAM 的最佳施用量为 12 kg·hm⁻²。

参考文献:

[1]金彦龙,吴文雪,叶正荣,等. 青稞品种的专用化鉴定与综合评价[J]. 植物遗传资源学报,2023,24(2):483.
JIN Y L, WU W X, YE Z R, et al. Specialized identification and comprehensive evaluation of hullless barley varieties [J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(2): 483.
[2]危文波,扎西罗布,甘雅文,等. 不同播种密度和肥料处理对青稞产量及农艺性状的影响[J]. 西藏农业科技,2022,44(3):19.
WEI W B, ZHAXILUOBU, GAN Y W, et al. Effects of different planting density and fertilizer treatment on barley yield and agronomic characters [J]. *Tibet Journal of Agricultural Sciences*, 2022, 44(3): 19.
[3]魏然,梁昕. 藏区青稞产业发展策略研究[J]. 农村经济与科技,2022,33(6):48.
WEI R, LIANG X. Study on the development strategy of highland barley industry in Tibetan areas [J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2022, 33(6): 48.
[4]林津,洛桑仁青,周陶鸿,等. 西藏山南隆子县黑青稞与白青稞的营养成分及生理活性物质的比较分析[J]. 食品科技,

- 2016,41(10):88.
- LIN J, LUOSANG R Q, ZHOU T H, *et al.* Analysis of nutrient ingredients and physiological active substances in black and white hullless barley from Shannan Longzi in Tibet [J]. *Food Science and Technology*, 2016, 41(10):88.
- [5] 强小林, 迟德钊, 冯继林. 青藏高原区域青稞生产与发展现状[J]. 西藏科技, 2008(3):11.
- QIANG X L, CHI D Z, FENG J L. The highland barley production of the area of Qinghai-Tibet Plateau and current situation of the development [J]. *Tibet's Science and Technology*, 2008(3):11.
- [6] 吕远平, 熊荣君, 贾利蓉, 等. 青稞特性及在食品中的应用[J]. 食品科学, 2005, 26(7):267.
- LÜ Y P, XIONG M J, JIA L R, *et al.* Characteristics of barley and application in food industry [J]. *Food Science*, 2005, 26(7):267.
- [7] LIU X, CHAN Z L. Application of potassium polyacrylate increases soil water status and improves growth of bermudagrass (*Cynodon dactylon*) under drought stress condition [J]. *Scientia Horticulturae*, 2015, 197:709.
- [8] 许婧雅. 保水剂在土壤中的应用[J]. 福建农业, 2015(6):183.
- XU J Y. Application of water-retaining agent in soil [J]. *Fujian Agriculture*, 2015(6):183.
- [9] 廖佳丽, 徐福利, 赵世伟. 不同保水剂对宁南山区马铃薯生长发育和产量的影响[J]. 西北农业学报, 2009, 18(1):238.
- LIAO J L, XU F L, ZHAO S W. Effect of different aquasorbent on growth and yield of potato in Ningnan Mountain [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2009, 18(1):238.
- [10] 刘慧军, 刘景辉, 于健, 等. 土壤改良剂对土壤紧实度及燕麦生长状况的影响[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3):130.
- LIU H J, LIU J H, YU J, *et al.* Effects of soil amendments on soil compaction and growth status of oat [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(3):130.
- [11] 白岗栓, 耿伟, 何登峰. 保水剂施用量对秦巴山区土壤特性及烤烟生长的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2019, 45(3):343.
- BAI G S, GENG W, HE D F. Effects of super absorbent polymer with different application rates on soil characteristics and flue-cured tobacco growth in Qinba mountain area [J]. *Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences)*, 2019, 45(3):343.
- [12] 白岗栓, 何登峰, 耿伟, 等. 不同保水剂对土壤特性及烤烟生长的影响[J]. 中国农业大学学报, 2020, 25(10):31.
- BAI G S, HE D F, GENG W, *et al.* Effects of different super absorbent polymer on soil characteristics and flue-cured tobacco growth [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2020, 25(10):31.
- [13] 孔子尧, 葛琳, 李建军, 等. 聚丙烯酸钾小麦抗旱保水剂基本特性研究[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(21):178.
- KONG Z Y, GE L, LI J J, *et al.* Study on basic characteristics of potassium polyacrylate wheat drought-resistant water-retaining agent [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2021, 27(21):178.
- [14] HOUSLEY T L, KIRLEIS A W, OHM H W, *et al.* Dry matter accumulation in soft red winter wheat seeds [J]. *Crop Science*, 1982, 22(2):292.
- [15] 朱明霞, 靳玉龙, 白婷, 等. 不同施肥水平下春青稞籽粒灌浆特性[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(22):72.
- ZHU M X, JIN Y L, BAI T, *et al.* Grain filling characteristics of spring barley under different fertilization levels [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(22):72.
- [16] 周新, 朱定英, 赵香龙, 等. 缓释尿素配施黄腐酸对隆子黑青稞发育及籽粒灌浆特性的影响[J]. 作物杂志, 2024(4):232.
- ZHOU X, ZHU D Y, ZHAO X L, *et al.* Effects of slow-release urea combined with fulvic Acid on the development and grain filling characteristics of Longzi black highland barley [J]. *Crops*, 2024(4):232.
- [17] 李世清, 邵明安, 李紫燕, 等. 小麦籽粒灌浆特征及影响因素的研究进展[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11):2033.
- LI S Q, SHAO M A, LI Z Y, *et al.* Review of characteristics of wheat grain fill and factors to influence it [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalis Sinica*, 2003, 23(11):2033.
- [18] 东强, 张毅, 朱定英, 等. 不同氮肥处理对黑青稞籽粒灌浆特性的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(7):942.
- DONG Q, ZHANG Y, ZHU D Y, *et al.* Effect of different nitrogen fertilizer treatments on grain filling characteristics of black highland barley [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2023, 43(7):942.
- [19] 张杉, 王培营, 江晓东, 等. 不同麦类作物籽粒灌浆特性研究[J]. 中国农学通报, 2024, 40(6):16.
- ZHANG S, WANG P Y, JIANG X D, *et al.* Study on grain filling characteristics of different wheat crops [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2024, 40(6):16.
- [20] 王丽娜, 韩玉林, 邹少奎, 等. 不同小麦品种粒重与籽粒灌浆特性探究[J]. 山东农业科学, 2019, 51(10):42.
- WANG L N, HAN Y L, ZOU S K, *et al.* Grain weight and grain filling characteristics of different wheat cultivars [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2019, 51(10):42.
- [21] MOTZO R, GIUNTA F, PRUNEDDU G. The response of rate and duration of grain filling to long-term selection for yield in Italian durum wheats [J]. *Crop & Pasture Science*, 2010, 61(2):162.
- [22] 张晶晶, 石玉, 于振文, 等. 不同土壤肥力麦田小麦干物质生产和产量的差异[J]. 麦类作物学报, 2021, 41(12):1544.
- ZHANG J J, SHI Y, YU Z W, *et al.* Differences in dry matter production and yield of wheat in wheat fields with different soil fertility [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2021, 41(12):1544.
- [23] 周思远, 杨丽娟, 付亮, 等. 不同新麦品种籽粒灌浆特性分析[J]. 种子, 2022, 41(7):79, 87.
- ZHOU S Y, YANG L J, FU L, *et al.* Analysis on grain filling characteristics of different Xinmai wheat lines [J]. *Seed*, 2022, 41(7):79, 87.
- [24] 窦克磊, 韩金玲, 王健, 等. 不同施肥模式对春玉米干物质积累转运、籽粒灌浆和产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2022, 50(20):98.
- DOU K L, HAN J L, WANG J, *et al.* Influences of different fertilization modes on dry matter accumulation and transport, grain filling and yield of spring maize [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(20):98.
- [25] 李东海, 陈亮, 杜雷超, 等. 保水剂对作物生长的不利影响及其发生机制[J]. 南方农机, 2025, 56(7):50.
- LI D H, CHEN L, DU L C, *et al.* Adverse effects of water retention agents on crop growth and their mechanisms [J]. *Southern Agricultural Machinery*, 2025, 56(7):50.
- [26] 司徒艳结, 卫尤明, 杨俊颖, 等. 保水剂对作物生长的不利影响及发生机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(7):1324.
- SITU Y J, WEI Y M, YANG J Y, *et al.* The adverse effects and mechanisms of water retaining agents on crop growth [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2022, 28(7):1324.
- [27] 王建功, 姜龙. 啤酒大麦产量构成因素分析与应用[J]. 大麦科学, 2000, 17(3):19.
- WANG J W, JIANG L. Analysis and application of yield components of beer barley [J]. *Barley Science*, 2000, 17(3):19.
- [28] 齐志广. 杂交小麦产量构成因素分析[J]. 河北师范大学学报, 2005, 29(4):402.
- QI Z G. Analysis of yield components of hybrid wheat [J]. *Journal of Hebei Normal University (Natural Science)*, 2005, 29(4):402.