

施氮对鲜食糯玉米主要商品品质与咀嚼品质性状的影响

李辛琲^{1,2}, 陈莫军², 杨浩², 李刚², 杨粉团², 孔凡丽², 南桂仙¹, 曹庆军²

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 吉林省农业科学院/农业农村部东北作物生理生态与耕作重点实验室, 长春 130062)

摘要: 以玉米品种松糯9(Sn9)与万糯2000(Wn2000)为材料, 研究不同施氮水平(低氮LN, 高氮HN)对鲜食糯玉米商品品质与咀嚼品质性状的影响。结果表明, 与LN处理(对照, CK)相比, HN处理下Sn9和Wn2000穗鲜重显著提高23.12%和15.86%, 穗长增加4.29%和21.97%, 两个品种的子粒深度和子粒宽度也显著提高, 子粒体积和子粒重无显著变化。HN处理显著提高了两个品种子粒中粗蛋白含量以及Wn2000子粒中粗脂肪含量, 显著降低了Sn9中粗脂肪含量。此外, 不同施氮处理显著影响两个品种子粒的种皮厚度和皮渣率, HN处理下, Sn9和Wn2000子粒种皮厚度较对照(CK)增加11.49%和32.35%, 皮渣率提高8.15%和9.79%。相关分析表明, 鲜食糯玉米子粒皮渣率与子粒重量、种皮厚度和子粒大小存在正相关性, 子粒大小与种皮厚度和皮渣率存在负相关性。因此, 在生产中应根据品种需肥特性确定氮肥投入, 利于鲜食糯玉米商品品质与咀嚼品质的协同提升。

关键词: 鲜食糯玉米; 商品品质; 氮水平; 皮渣率; 种皮厚度

中图分类号: S513.062

文献标识码: A

Effects of Nitrogen Application on Main Commercial Quality and Chewing Quality Traits of Fresh Waxy Maize

LI Xin-bei^{1,2}, CHEN Mo-jun², YANG Hao², LI Gang², YANG Fen-tuan²,

KONG Fan-li², NAN Gui-xian¹, CAO Qing-jun²

(1. Agricultural College, Yanbian University, Yanji 133002; 2. Jilin Academy of Agricultural Sciences (China Agricultural Science and Technology Northeast Innovation Center)/Northeast Crop Physiology Ecology and Tillage Key Laboratory of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Changchun 130062, China)

Abstract: In this experiment, maize varieties Songnuo 9(Sn9) and Wannuo 2000(Wn2000) were used as materials to study the effects of low nitrogen(LN, CK) and high nitrogen(HN) treatments on commodity quality and chewing quality traits of fresh waxy maize. The results showed that, compared with the LN treatment, the fresh ear weight of Sn9 and Wn2000 under HN treatment were significantly increased by 23.12% and 15.86%, and the ear length increased by 4.29% and 21.97%, respectively. HN treatment also increased the grain depth and grain width of the two varieties, but had no significant effect on grain volume or grain weight. Additionally, nitrogen rate significantly affected the kernel pericarp thickness and residue rate, the kernel pericarp thickness of Sn9 and Wn2000 under the HN treatment were increased by 11.49% and 32.35% respectively, and the residue rate increased by 8.15% and 9.79% respectively compared with the control. The correlation analysis showed that there was a positive correlation between the grain residue rate of fresh waxy maize and grain weight, seed coat thickness and grain size, while there was a negative correlation between grain size and seed coat thickness and residue rate. Therefore, nitrogen fertilizer should be applied according to the fertilizer requirement characteristics of varieties in production, which is conducive to the coordinated improvement of commodity quality and chewing quality of fresh waxy maize.

Key words: Fresh waxy maize; Commercial quality; Nitrogen level; Residue rate; Kernel pericarp thickness

录用日期: 2023-08-30

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20210202125NC, YDZJ202301ZYTS336, 20230202041NC)、吉林省农业科技创新工程(CXGC2022RCY013)

作者简介: 李辛琲, 女, 硕士, 研究方向为作物生理与鲜食玉米栽培。E-mail: 2285947376@qq.com

陈莫军为本文共同第一作者。

曹庆军和南桂仙为本文通信作者。

鲜食糯玉米富含多种营养物质,口感软糯香甜,具有独特的玉米清香,深受消费者喜爱^[1]。吉林省作为鲜食糯玉米的优势产区,常年播种面积稳定在40万~50万hm²,年产值近50亿元^[2],在满足鲜食玉米消费需求上占有十分重要的地位^[3]。

对于鲜食糯玉米而言,氮(N)是生长必需的大量营养元素,也是影响糯玉米产量和品质性状的因素之一^[4],缺氮会导致玉米植株生长发育不良^[5],降低穗粒数致使减产^[6]。因此,为了追求高产,鲜食玉米生产者往往施用过量的氮肥。增施氮肥可提高作物的光合能力,进而影响干物质的合成与转运^[7],从而提高光合产物向子粒等器官中积累的速率和积累量^[8]。此外,增施氮肥还可增加子粒“库”的大小,如提高作物穗粒数和子粒体积等性状,从而提高作物产量^[9]。过量施氮不能无限制的提高作物产量^[10]。大量报道证实,过量施氮会造成作物徒长^[11]、降低子粒淀粉含量^[12],主要是由于过量施氮提高了子粒中蛋白质^[13]的含量,从而降低了淀粉合成与积累,导致玉米黏度等参数降低^[14]。崔丽娜、钱必长^[15-16]等研究证实,随施氮量的增加,玉米黏度参数呈先升高后降低趋势,进而降低玉米咀嚼品质。吉林省作为鲜食糯玉米的优势产区,鲜食玉米产业不断发展,提升鲜食糯玉米的商品品质和食用品质已成为生产中的关键性问题。目前,关于过量施氮对吉林省鲜食糯玉米商品品质和咀嚼品质影响的研究还少有报道。为此,本研究以当前市场主推品种松糯9和万糯2000为材料,探究施氮对鲜食糯玉米商品品质与咀嚼品质的影响,为吉林省鲜食糯玉米安全优质栽培提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在吉林省农业科学院长春院区(43.82° N, 125.37° E)进行,该区域气候为温带大陆性季风气候,年日照时数2 688 h,最高温度39.5℃,年降水量600~700 mm,有效积温2 860℃·d,无霜期140~150 d。

1.2 试验设计

本研究采用盆栽试验方法,设氮水平与品种两个因素。氮水平设低氮(LN)与高氮(HN)两个水平,其中LN处理为对照(CK)。基于前期试验结果,LN、HN处理纯氮施用量分别为3.27、5.09 g/盆,磷肥(P₂O₅)、钾肥(K₂O)用量分别为1.82、2.18 g/盆。品种为松糯9(Sn9)和万糯2000(Wn2000),分别由吉林市松花江种业有限公司和吉林省农业科学院提供。试验采用随机区组设计,每个处理15盆,盆栽土养分含

量分别为全氮1.1 g/kg、有效氮126.2 mg/kg、速效磷19.3 mg/kg、速效钾101.2 mg/kg,pH值7.3。5月10日后,人工点播方式进行穴播,每盆播种两粒,在玉米V3~V4期进行间苗人工除草。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 鲜穗重与子粒性状

在适宜采收期^[17]选取代表性植株,标记后放入保鲜箱内带回实验室,取回的鲜果穗去除苞叶后用天平称量果穗鲜穗重,刻度尺测量果穗有效长度,然后选取果穗中部代表性子粒30粒,将果穗子粒与穗轴小心分离,取完整子粒15粒用于子粒体积、重量、宽度与深度的测定。

1.3.2 蛋白质与粗脂肪

糯玉米子粒高温杀青后于40℃条件下烘干至恒重,使用FS100型固体样品高速粉碎机粉碎后过40目筛,采用考马斯亮蓝法测定子粒蛋白含量,参照GB/T24902-2010粮油中玉米脂肪检验测定脂肪含量。

1.3.3 种皮厚度与皮渣率

选取糯玉米中部子粒10粒,纯净水浸泡24 h后,在混合液($V_{\text{水}} \div V_{\text{甘油}} = 1:3$)中浸泡软化20 h,用刀片去除子粒的顶端和果冠,种皮沿子粒突起切下,获得矩形果皮,用滤纸吸干表面水分,放置在室温条件下24 h后,用数显测微计进行测量。

皮渣率的测定参照农业农村部实行方法^[18],先称取适期采收的50~100 g糯玉米子粒两份等重混匀,1份放入70℃鼓风烘箱中烘干直至恒重(M1),另一份放入豆浆机高速打磨30 s,直至皮渣与浆分离;将磨碎的玉米浆、皮渣全部转移到预先称好重量(M2)的60目分样筛中,用细水流不断冲洗分样筛中的玉米皮渣,直至冲洗出的水变清为止。将冲洗好的分样筛连同玉米皮渣放入70℃鼓风烘箱中烘干至恒重,取出放入干燥器中冷却后称取重量(M3)。

$$\text{皮渣率} = (M3 - M2) / M1 \times 100\%$$

1.3.4 鲜穗产量测定

在糯玉米采收期每个处理随机选择5株脱去苞叶后调查穗鲜重。

1.4 数据处理与分析

利用EXCEL365进行数据初步整理,利用IBM SPSS(24.0)进行双因素方差分析,采用Tukey方法进行差异显著性比较,采用GraphPad Prism 9进行绘图。

2 结果与分析

2.1 氮水平对鲜食糯玉米穗鲜重与子粒性状的影响

由表1可知,氮水平显著影响鲜食糯玉米的鲜

穗重、子粒宽度和子粒深度($P<0.05$),对子粒体积和鲜粒重无显著影响;不同糯玉米品种间鲜穗重、子粒体积、子粒重量达极显著水平($P<0.01$),子粒宽度与子粒深度达显著水平($P<0.05$)。与LN处理相比,HN处理下Sn9的鲜穗重、子粒宽度和子粒深度分别提

高23.12%、5.29%和2.34%;品种Wn2000鲜穗重、子粒宽度和子粒深度较LN处理相应分别提高15.86%、9.82%和6.38%。此外,在相同施氮水平下,除子粒深度外,Wn2000的鲜穗重、子粒体积、子粒重量和子粒宽度均显著高于Sn9(表1)。

表1 氮水平对鲜食糯玉米穗鲜重与子粒性状的影响
Table 1 Effects of nitrogen levels on ear fresh weight and grain traits of fresh waxy maize

品 种	氮水平	鲜穗重(g)	子粒体积(mL/10粒)	子粒重量(g/10粒)	子粒宽度(mm)	子粒深度(mm)
Variety	N level	Ear fresh weight	Kernel size	Kernel weight	Kernel width	Kernel depth
松糯9	高 氮	171.21±3.46	2.14±0.11	2.85±0.05	8.35±0.09	9.68±0.24
	低 氮	158.78±3.05	2.05±0.06	2.85±0.20	7.97±0.13	9.38±0.15
万糯2000	高 氮	289.87±11.62	2.94±0.06	3.19±0.07	9.62±0.06	9.01±0.11
	低 氮	250.20±9.38	2.87±0.10	3.07±0.06	8.75±0.09	8.46±0.15
变异来源						
氮水平		0.006	0.236	0.342	0.012	0.010
品 种		$P<0.001$	$P<0.001$	0.003	0.014	0.024
氮水平×品种		0.107	0.871	0.366	0.305	0.253

2.2 氮水平对鲜食糯玉米商品品质与主要营养品质的影响

不同氮水平处理下鲜食糯玉米穗长见图1。图1表明,盆栽试验糯玉米穗长受氮水平(N)、品种类型(V)和氮水平与品种类型交互作用(N×V)的影响。HN处理下Sn9的穗长平均为19.47 cm,比LN处理

显著($P<0.05$)提高4.29%;对于品种Wn2000,HN处理极显著($P<0.01$)高于LN处理,HN处理穗长为23.80 cm,比LN处理提高21.97%。不同品种比较,Wn2000平均穗长为21.66 cm,比品种Sn9增加13.64%。

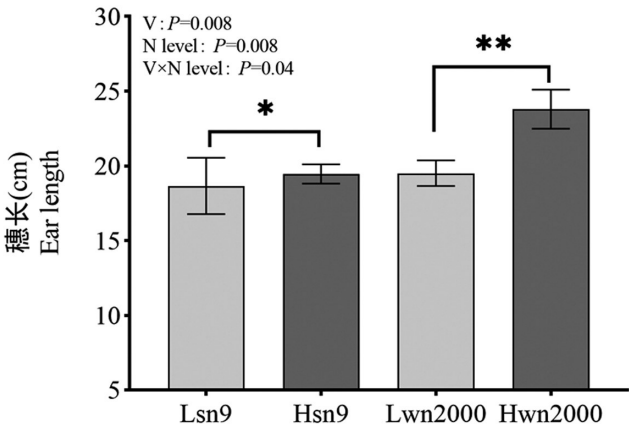


图1 氮水平对鲜食糯玉米穗长的影响
Fig.1 Effect of nitrogen level on ear length of fresh waxy maize

营养品质是评价鲜食糯玉米品质性状的重要指标。由图2可以看出,糯玉米子粒蛋白质和粗脂肪均受氮水平(N)和品种类型(V)的极显著影响($P<0.01$),氮水平与品种类型的交互作用(V×N)对以上指标无显著影响($P>0.05$)。HN处理下,Sn9、Wn2000的子粒蛋白质含量分别为12.26%、10.50%,比LN处理提高29.46%、18.17%;对于脂肪而言,HN处理下

Sn9、Wn2000脂肪含量分别为4.11%、4.68%,相对于LN处理Wn2000脂肪含量提高27.34%,Sn9降低12.95%。

2.3 氮水平对鲜食糯玉米咀嚼品质的影响

种皮厚度与皮渣率是衡量鲜食糯玉米适口性的重要指标。由图3可知,不同氮水平和品种间糯米皮渣率存在极显著差异($P<0.01$),二者间的交互作

用显著影响糯玉米皮渣率。在HN处理下,Sn9和Wn2000皮渣率分别为6.06%和8.68%,较LN处理分别提高11.49%和32.35%。糯玉米的种皮厚度在不同氮水平和品种类型间均存在极显著差异($P<0.01$),且氮水平与品种类型的交互作用($V\times N$)对皮渣率有

显著影响($0.01<P<0.05$)。HN处理下,Sn9和Wn2000的子粒种皮厚度分别为0.18 mm和0.25 mm,与LN处理相比分别提高8.15%和9.79%;不同品种比较,Wn2000的种皮厚度为0.24 mm,比Sn9高37.61%。

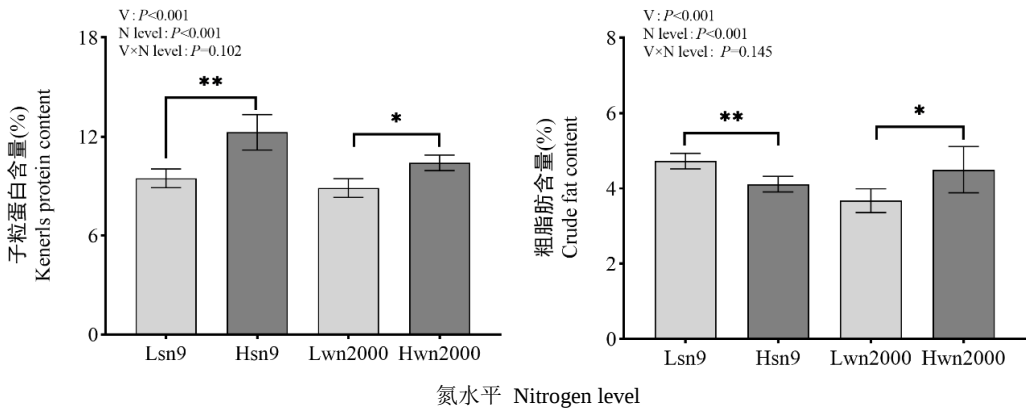


图2 氮水平对鲜食糯玉米子粒蛋白与粗脂肪含量的影响

Fig.2 Effects of nitrogen application rate on grain protein and crude fat content of fresh waxy maize

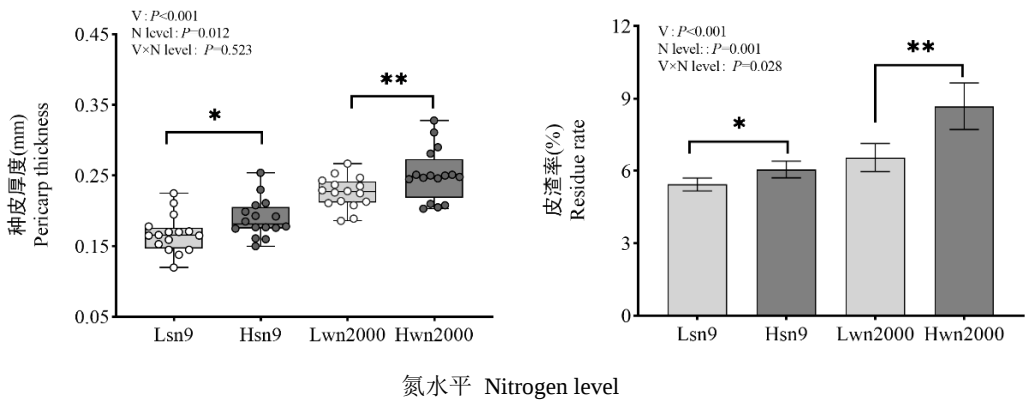
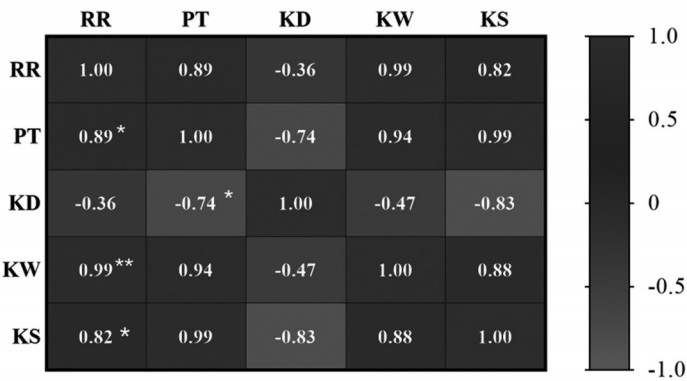


图3 氮水平对鲜食糯玉米子粒种皮厚度与皮渣率的影响

Fig.3 Effects of nitrogen levels on kernel pericarp thickness and residue rate of fresh waxy maize

2.4 鲜食玉米皮渣率与子粒性状的相关性分析



注:RR、PT、KD、KW与KS分别代表皮渣率、种皮厚度、子粒宽度、子粒重量与子粒大小。
Note: RR, PT, KD, KW and KS represent seed coat thickness, seed width, seed weight and seed size, respectively.

图4 鲜食玉米皮渣率与子粒性状的相关性热图

Fig.4 Heat map of correlation between residue rate and grain traits of fresh maize

相关分析结果表明(图4),不同氮水平处理下鲜食玉米子粒皮渣率RR与子粒重量KW呈极显著($P<0.01, r=0.99$)正相关,与种皮厚度PT($P<0.05, r=0.89$)、子粒大小KS呈显著正相关($P<0.05, r=0.82$),与子粒深度KD呈负相关;种皮厚度PT与子粒深度KD呈显著($P<0.05, r=-0.74$)负相关。

3 结论与讨论

氮是玉米生长发育所必需的大量矿质元素,适量增施氮肥可增加作物的叶面积指数^[19],维持植物叶片光合系统的稳定性和光合效率^[20],促进光合产物的积累和转运,从而增加穗粒数和粒重,提高作物子粒产量。王莹^[21]等研究证实,鲜食玉米增施氮肥可显著提高玉米鲜穗重、百粒重等性状指标,从而增加鲜食玉米产量和种植效益。此外,适当增施氮肥可提高玉米的穗长^[22]与百粒重^[23],从而提高玉米的商品性。本研究盆栽试验中,HN处理下两个鲜食玉米品种的鲜穗重、穗长、子粒宽度和子粒深度均显著高于LN处理。该结果验证增施氮提高了鲜食糯玉米子粒的饱满程度,提升果穗长度,增加鲜穗质量,有利于提升鲜食糯玉米外观商品性。本研究发现,品种Wn2000与Sn9对HN处理响应存在差异,相对于品种Sn9,品种Wn2000对HN处理响应更加明显,这可能与品种的氮肥需求特性有关。

氮是构成植物体内蛋白质、脂肪等有机物的基本元素,与子粒营养品质紧密相关。前人研究表明,施氮能提高玉米中粗蛋白和粗脂肪的含量^[24-25]。本研究高氮(HN)处理显著提高了Sn9与Wn2000子粒粗蛋白质含量。在HN处理下,两个品种子粒中粗脂肪含量存在相反的结果,HN处理提高了品种Wn2000中粗脂肪含量,降低了Sn9中子粒粗脂肪含量。也有研究表明,在作物生长发育后期增施氮肥会导致子粒粗脂肪的含量降低^[26]。玉米子粒脂肪含量是数量性状由主基因+多基因控制,具有加性-显性遗传效应,遗传力较大^[27]。因此,不同鲜食玉米品种子粒粗脂肪含量对施氮水平出现较大的差异。另外,子粒灌浆过程中脂肪合成与蛋白合成存在负相关关系,HN处理下子粒蛋白质的大量积累会抑制子粒脂肪的合成,从而降低了Sn9子粒中粗脂肪含量。

种皮厚度和皮渣率是评价鲜食玉米咀嚼品质的重要指标。一般认为,鲜食玉米的种皮厚度主要由品种遗传特性决定的^[28]。本研究表明,种皮厚度受氮肥水平影响,品种Wn2000的种皮厚度显著高于Sn9。纤维素、半纤维素和蛋白质是玉米种皮主要构

成物质^[29],因此,鲜食玉米种皮中纤维素、半纤维素的含量与皮渣率大小有很强的相关性^[30]。氮肥增施往往会提高子粒灌浆的充实度,增大子粒的体积,从而使子粒有更大的表面积,这可能是HN处理下两个品种皮渣率提高的主要原因。HN处理引起种皮厚度增加机制需要进一步深入研究。此外,相关分析还证实,子粒种皮厚度与皮渣率呈显著正相关,鲜食玉米的皮渣率与子粒重量和子粒大小分别呈极显著和显著正相关,这说明增施氮肥能显著影响并增加鲜食玉米的种皮厚度和皮渣率,一定程度降低鲜食玉米的咀嚼品质和适口性。

综上,高氮处理能增加鲜食玉米的穗长、穗鲜重等商品性状,一定程度上提高子粒蛋白含量,显著增加子粒种皮厚度和皮渣率,降低鲜食玉米的食用品质。因此,在生产上应进一步结合鲜食玉米品种特性,协同考虑果穗商品品质和食用品质,确定最佳氮肥投入量。

参考文献:

- [1] 马莹,王丽媛,马佳,等.大都市消费者对鲜食玉米的认知水平及消费行为研究—基于上海的实证分析[J].农业展望,2020,16(2): 122-127.
MA Y, WANG L Y, MA J, et al. Research on cognition level and consumption behavior of metropolitan consumers on fresh corn—empirical analysis based on Shanghai[J]. Agricultural Outlook, 2020, 16(2): 122-127. (in Chinese)
- [2] 赵瑞华.总产值32亿元吉林鲜食玉米高质量发展初见成效[N].粮油市场报,2022-03-05(A01).
- [3] 曹艺腾,王艳华.基于DEMATEL-ISM模型的鲜食玉米产业发展制约因素分析[J].玉米科学,2022,30(1):182-190.
CAO Y T, WANG Y H. Analysis of restricting factors of fresh corn industry development based on DE MATEL-ISM method[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(1): 182-190. (in Chinese)
- [4] 陆大雷,郭换粉,陆卫平.播期、品种和拔节期追氮量对糯玉米淀粉粒分布的影响[J].中国农业科学,2011,44(2):263-270.
LU D L, GUO H F, LU W P. Effects of sowing date, variety and nitrogen top-dressing at jointing stage on starch granule size distribution of waxy maize[J]. Scientia Agricultural Sinica, 2011, 44(2): 263-270. (in Chinese)
- [5] 阎世江,房雅丽,卢占龙,等.减量施用氮肥对玉米光合参数、产量与品质的影响[J].江苏农业科学,2022,50(12):64-69.
YAN S J, FANG Y L, LU Z L, et al. Impacts of reduced application of nitrogen fertilizer on photosynthetic parameters, yield and quality of maize[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2022, 50(12): 64-69. (in Chinese)
- [6] 李宏杰.施氮水平对不同氮效率玉米品种氮素吸收利用的影响及生理机制[D].郑州:河南农业大学,2022.
- [7] 张婷,柴晓娇,沈轶男,等.不同氮素水平对谷子农艺性状和氮素利用效率的影响[J].江苏农业科学,2022,50(1):66-71.
ZHANG S, CHAI X J, SHEN Y N, et al. Influences of different nitrogen levels on agronomic traits and nitrogen utilization efficiency of

- millet[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(1): 66–71. (in Chinese)
- [8] 陈松鹤,徐开未,白燕,等.不同氮用量下玉米不同部位生物量、养分含量及饲用品质的比较研究[J]. *华北农学报*, 2018, 33(3): 189–195.
- CHEN S H, XU K W, BAI Y, et al. The comparative study on yield, nutrient uptake and forage quality in different organs of maize under different N rates[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2018, 33(3): 189–195. (in Chinese)
- [9] 姚金保,马鸿翔,张平平,等.种植密度和施氮量对小麦宁麦24子粒产量和品质的影响[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(15): 41–44.
- YAO J B, MA H X, ZHANG P P, et al. Effects of plant density and nitrogen application rate on grain yield and quality of wheat cultivar "Ningmai 24"[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(15): 41–44. (in Chinese)
- [10] 杨梦雅,刘志鹏,陈曦,等.施氮水平对高产夏玉米氮磷钾积累和产量形成特性的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2017, 40(6): 1–8.
- YANG M Y, LIU Z P, CHEN X, et al. Effects of the N level on accumulation of N, P, and K and yield formation in the high yield plants of summer maize[J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2017, 40(6): 1–8. (in Chinese)
- [11] 李媛媛,杨恒山,范秀艳,等.不同施氮水平对春玉米伟科702干物质积累及转运的影响[J]. *华北农学报*, 2016, 31(5): 228–232.
- LI Y Y, YANG H S, FAN X Y, et al. Effects of different nitrogen levels on dry matter accumulation and transportation of spring maize Weike 702[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(5): 228–232. (in Chinese)
- [12] 刘海龙,何萍,金继运,等.施氮对高淀粉玉米和普通玉米子粒可溶性糖和淀粉积累的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2009, 15(3): 493–500.
- LIU H L, HE P, JIN J Y, et al. Effects of nitrogen nutrition on sugar and starch accumulation of high starch maize and common maize [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2009, 15(3): 493–500. (in Chinese)
- [13] 张智猛,戴良香,胡昌浩,等.氮素对不同玉米蛋白质及其组分和相关酶活性的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2005, 11(3): 320–326.
- ZHANG Z M, DAI L X, HU C H, et al. Effects of nitrogen on the protein, protein constituents and relevant enzymes activity of maize [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2005, 11(3): 320–326. (in Chinese)
- [14] 胡健,陈志英,王长进,等.施氮水平对玉米子粒品质与淀粉黏度参数的影响[J]. *安徽科技学院*, 2020, 34(6): 46–52.
- HU J, CHEN Z Y, WANG C J, et al. Effects of nitrogen rate on grain quality and starch viscosity parameters in corn[J]. *Journal of Anhui Science and Technology University*, 2020, 34(6): 46–52. (in Chinese)
- [15] 崔丽娜,李庆方,董树亭.追氮对夏玉米淀粉含量及其糊化特性的影响[J]. *中国粮油学报*, 2018, 33(3): 43–47.
- CUI L N, LI Q F, DONG S T. The effects of nitrogen fertilizer top-dressing on starch content and starch pasting properties in summer maize (*Zea mays* L.)[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2018, 33(3): 43–47. (in Chinese)
- [16] 钱必长,方连,夏澳运,等.氮肥对玉米胚乳淀粉粒分布与糊化特性的影响[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2018, 33(6): 1011–1015.
- QIAN B C, FANG L, XIA A Y, et al. Effects of nitrogen rate on granule size distribution and gelatinization characteristics of starch in corn kernels[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2018, 33(6): 1011–1015. (in Chinese)
- [17] 董宗宗,乔勇进,刘晨霞,等.不同采收期对鲜食糯玉米品质影响的研究[J]. *上海农业学报*, 2020, 36(4): 19–24.
- DONG Z Z, QIAO Y J, LIU C X, et al. Study on the influence of different harvesting times on the quality of fresh waxy corn[J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2020, 36(4): 19–24. (in Chinese)
- [18] 曹庆军,姜晓莉,杨粉团,等.种植密度对甜玉米与鲜食糯玉米产量与品质性状的影响[J]. *玉米科学*, 2018, 26(6): 94–98.
- CAO Q J, JIANG X L, YANG F T, et al. Effect of planting density on grain yield and quality of fresh sweet corn and waxy corn[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(6): 94–98. (in Chinese)
- [19] MAN J, SHI Y, YU Z, et al. Dry matter production, photosynthesis of flag leaves and water use in winter wheat are affected by supplemental irrigation in the Huang-Huai-Hai Plain of China[J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0137274.
- [20] 魏廷邦,胡发龙,赵财,等.氮肥后移对绿洲灌区玉米干物质积累和产量构成的调控效应[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(15): 2916–2927.
- WEI T B, HU F L, ZHAO C, et al. Response of dry matter accumulation and yield components of maize under N-Fertilizer postponing application in oasis irrigation areas[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(15): 2916–2927. (in Chinese)
- [21] 王莹,杜妍,袁静超,等.不同施氮水平对春玉米高产群体产量及氮素利用的影响[J]. *玉米科学*, 2023, 31(2): 106–115.
- WANG Y Y, DU Y, YUAN J C, et al. Effects of different nitrogen levels on the yield and nitrogen utilization of high-yield spring maize population[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2023, 31(2): 106–115. (in Chinese)
- [22] 王晓维,杨文亨,缪建群,等.玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. *生态学报*, 2014, 34(18): 5275–5282.
- WANG X W, YANG W T, MIAO J Q, et al. Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen fertilizer on yield and agronomic traits of maize[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(18): 5275–5282. (in Chinese)
- [23] 杨粉团,曹庆军,李贺,等.不同氮量和密度对吉单96冠层特性及产量的影响[J]. *玉米科学*, 2019, 27(3): 134–139.
- YANG F T, CAO Q J, LI H, et al. Effects of nitrogen fertilizer application rate and planting density on canopy characteristic and yield of maize variety Jidan96[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2019, 27(3): 134–139. (in Chinese)
- [24] 王艳朋.氮胁迫条件下玉米子粒和秸秆品质及N、P、K含量的QTL分析[D]. 郑州:河南农业大学, 2008.
- [25] 刘恩科,赵秉强,胡昌浩,等.长期不同施肥制度对玉米产量和品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(5): 711–716.
- LIU E K, ZHAO B Q, HU C H, et al. Effects of long-term fertiliza-

- tion systems on yield and quality of maize[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, 37(5): 711–716. (in Chinese)
- [26] 朱朋波, 徐大勇, 方兆伟, 等. 氮磷钾肥施用量对稻米粗脂肪含量的影响[J]. *江苏农业科学*, 2006(6): 395–396.
- ZHU P B, XU D Y, FANG Z W, et al. Effects of application quantity of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on oil content in rice[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2006(6): 395–396. (in Chinese)
- [27] 李颖. 高油玉米主要性状主基因+多基因遗传分析[D]. 长春: 吉林农业大学, 2011.
- [28] 禹玉华, 段俊, 王子明, 等. 影响超甜玉米子粒种皮厚度因子的关联分析[J]. *玉米科学*, 2003, 11(2): 19–21.
- YU Y H, DUAN J, WANG Z M, et al. Grey correlative degree analysis of the factors influencing the grain pericarp thickness of super sweet corn hybrid[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2003, 11(2): 19–21. (in Chinese)
- [29] 周昱婕, 韩洁楠, 王美娟, 等. *Opaque2* 基因对糯玉米子粒品质的影响分析[J]. *玉米科学*, 2021, 29(2): 29–34.
- ZHOU Y J, HAN J N, WANG M J, et al. Effect of *Opaque2* on the quality of waxy corn kernels[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2021, 29(2): 29–34. (in Chinese)
- [30] 王晶, 孙国英, 潘安龙, 等. 利用近红外光谱法测定玉米皮渣中的木质素、灰分及蛋白质[J]. *光谱实验室*, 2012, 29(4): 1978–1983.
- WANG J, SUN G Y, PAN A L, et al. Determination of lignin, ash and protein in corn fiber by near infrared spectroscopy[J]. *Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory*, 2012, 29(4): 1978–1983. (in Chinese)

(责任编辑: 姜媛媛)