

氮肥施用对谷子产量及小米米色的影响

马金丰,董晓杰,李志江,于金海,李祥羽,孙广全,郑雅滢

(黑龙江省农业科学院 作物资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为探究不同氮肥施用量对谷子产量及小米米色的影响,以优质谷子龙谷25为试验材料,采用随机区组设计,设置0(CK)、75(T1)、150(T2)、225(T3)、300(T4)、450(T5)kg/hm²6个氮肥施用量处理,测定谷子关键生长期生物量、养分积累量,成熟期产量相关性状,收获后磨米进行米色测定。结果表明,谷子拔节期植株生物量随施氮量的增多而增加;抽穗期、灌浆期、成熟期植株生物量随施氮量的增多表现为先增加后降低的趋势,在氮肥施用量为300 kg/hm²时达到最大。谷子各生育期植株养分积累量随施氮量的增多大体呈现先增加后降低的趋势;植株全氮积累量在施氮量为150~225 kg/hm²时较大,全磷积累量在施氮量为150 kg/hm²时达到最大,全钾积累量在施氮量为300 kg/hm²时达到最大。施肥条件下的产量及产量相关性状均高于不施肥,且在施氮量为300 kg/hm²时产量最高。各氮肥处理下的小米表面色度L*、a*、b*值均无显著差异;施氮量为225 kg/hm²时L*值最大,小米色泽更亮;氮肥施用量为75 kg/hm²时b*值最大,小米更黄,过量施用氮肥不利于小米黄色素的形成。综上,氮肥施用量为150~300 kg/hm²有利于兼顾谷子高产和优质,可结合市场需求调整施肥量,以平衡产量和品质的关系。

关键词:谷子;产量;氮肥;农艺性状;米色

中图分类号:S515

文献标识码:A

文章编号:1002-2481(2024)05-0091-07

Effects of Nitrogen Fertilizer Application on Millet Yield and Millet Color

MA Jinfeng, DONG Xiaojie, LI Zhijiang, YU Jinhai, LI Xiangyu, SUN Guangquan, ZHENG Yalu

(Institute of Crop Resources, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: To investigate the effect of different nitrogen fertilizer application rates on millet yield and millet color, in this study, high-quality millet Longgu 25 was used as the experimental material, and a randomized block design was used. 6 nitrogen fertilizer application rates of 0(CK), 75(T1), 150(T2), 225(T3), 300(T4), and 450(T5)kg/ha were set. The biomass and nutrient accumulation during the critical growth period of foxtail millet, as well as the agronomic traits and yield during the mature stage were measured. After harvest, the millet was ground for millet color identification. The results showed that the biomass of foxtail millet plants during the jointing stage increased with the increase of nitrogen application rate, the biomass of plants during the heading, filling, and mature stages showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of nitrogen application, reaching the maximum value at a nitrogen application rate of 300 kg/ha. The nutrient accumulation of millet plants at different growth stages generally showed a trend of first increasing and then decreasing with the increase of nitrogen application rate. The total nitrogen accumulation of plants reached its maximum value at a nitrogen application rate of 150-225 kg/ha. The total phosphorus accumulation reached its maximum value at a nitrogen application rate of 150 kg/ha, and the total potassium accumulation reached its maximum value at a nitrogen application rate of 300 kg/ha. The yield and yield related traits under fertilization conditions were higher than those under no fertilization conditions, and the highest yield was achieved at a nitrogen application rate of 300 kg/ha. There was no significant difference in the surface chromaticity L*, a*, and b* values of millet under various nitrogen fertilizer treatments. When the nitrogen application rate was 225 kg/ha, the L* value was the highest and the color of millet was brighter. When the nitrogen fertilizer application rate was 75 kg/ha, the b* value was the highest, and millet became more yellow. Excessive application of nitrogen fertilizer was not conducive to the formation of yellow pigment in millet. In summary, a nitrogen fertilizer application rate of 150-300 kg/ha was beneficial for balancing high yield and high quality of millet. The fertilizer application rate could be adjusted based on market demand to balance the relationship between yield and quality.

Key words: millet; yield; nitrogen fertilizer; agronomic traits; millet color

收稿日期:2024-02-03

基金项目:黑龙江省农业科技创新跨越工程农业科技基础创新项目(CX23YQ27);黑龙江省重点研发计划(GA21B009-02);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业特色产业科技创新支撑项目(CX23TS08);国家谷子高粱产业技术体系建设专项(CARS-06-14.5-B22);黑龙江省杂粮作物遗传改良重点实验室项目

作者简介:马金丰(1966-),男,黑龙江哈尔滨人,副研究员,硕士,主要从事谷糜育种研究工作。

谷子 (*Setaria italica* (L.) Beauv.) 作为起源于我国的优势杂粮作物,具有抗旱耐瘠、营养丰富、粮饲兼用等优点^[1]。随着人们生活水平的提高,越来越多的人开始追求小米、藜麦、燕麦等杂粮的营养价值,而在禾谷类作物中,谷子的营养价值最高,8种必需氨基酸中除赖氨酸较低外,其余均高于小麦、大米,还具有防癌的健康元素硒,是其他粮食作物不能比拟的^[2]。肥料在谷子的一生当中起着非常重要的作用,如肥料供应不当或不足则会引起谷子植株矮小、发育不良等现象,影响株高和生物量的积累而造成谷子减产^[3-7]。作物在生长发育过程中对氮元素的吸收量很大,因为氮元素是植物体内蛋白质、氨基酸、叶绿素、生物碱及各种激素和酶的重要组分^[8],因此,氮肥是限制作物生长的主要因素之一。

在肥料与谷子生长发育的关系方面,前人已经做了大量的研究^[9-11]。曾蓉^[12]通过对谷子生长发育、籽粒产量及品质的分析,对不同追氮时期和追氮量进行了研究。代小冬等^[13-15]研究发现,施肥处理下的谷子顶3叶叶面积、产量及产量相关性状均高于不施肥处理。王艳玲等^[16-18]研究表明,随着氮肥施用量的增加,谷子产量有明显的增加趋势。秦岭等^[19]研究认为,随着施氮量的增多,披散型品种济谷14的产量表现为先增加后下降的趋势,而紧凑型品种豫谷18的产量与施氮量呈现正相关关系。杨艳君等^[20-21]探讨了氮、磷、钾肥及种植密度对张杂谷5号产量及产量构成因素的影响,结果表明,氮肥和行距对产量和穗粒数有显著影响。张谨华等^[22]也研究发现,随着施氮量的增多,谷子叶绿素含量、净光合速率、叶面积指数和产量表现为先增加后降低的趋势。郝子义等^[23]研究了施氮水平对谷子干物质积累分配和氮素利用的影响,得出杂交谷子更耐低氮环境的结论。

龙谷25作为东北春谷区的代表性品种,具有小米品质好、硒(Se)含量丰富等突出特点,被中国作物学会谷子专业委员会评为国家一级优质米。本研究针对东北春谷区土壤肥力特点,以谷子品种龙谷25为试验材料,对不同氮肥施用量下的龙谷25干物质积累量、产量及产量相关性状和小米米色进行研究,分析不同氮肥条件下龙谷25的产量及品质,以筛选出适宜该区域的氮肥施用量,旨在为东北春谷区优质谷子氮肥施用技术提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验于2021年4—10月在黑龙江省农业科学院作物资源研究所试验基地哈尔滨市道外区民主镇进行。试验地土壤类型为黑土,水解性氮含量为170.2 mg/kg,有效磷含量为20.6 mg/kg,速效钾含量为89.8 mg/kg,有机质含量为45.5 g/kg,pH值为5.12。

1.2 供试材料

供试谷子品种为龙谷25,由黑龙江省农业科学院作物资源研究所选育。长效尿素(46% N)、过磷酸钙(12% P₂O₅)、硫酸钾(50% K₂O)均由鲁西化工集团股份有限公司生产。

1.3 试验设计

采用随机区组设计,以尿素为氮肥,设0、75、150、225、300、450 kg/hm²共6个水平,分别用CK、T1、T2、T3、T4、T5表示,每个处理设置3次重复。各处理均施用60 kg/hm²过磷酸钙、60 kg/hm²硫酸钾,所有肥料均一次性基施。小区设置6行区,行长5 m,行距65 cm,小区面积为19.5 m²,田间种植密度为60万株/hm²,田间管理按常规谷子生产田进行。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 地上部植株生物量测定 谷子拔节期、抽穗期、灌浆期、成熟期,每个小区随机取代表性植株30株,分别测量植株鲜质量、干质量。

1.4.2 地上部植株氮、磷、钾积累量的测定 将烘干后的样品用植物样品粉碎机粉碎,过0.15 mm筛,四分法取样,备用。采用凯氏定氮法测定N含量、钒钼黄吸光光度法测定P含量、火焰原子吸收分光光度法测定K含量。

1.4.3 谷子产量及米色分析 谷子成熟期测量株高、穗长、单穗质量、穗粒质量、千粒质量等,小区实收测产。谷子收获后利用XMJ100型鲜米机进行磨米,利用YS3010分光测色仪进行米色测定。其中,L*值表示米色亮度,值越大,代表米色越亮;a*值表示红绿度,a*值越大,米色越红;b*值表示蓝黄度,b*值越大,米色越黄。

1.5 数据分析

采用Excel 2019进行数据归纳整理及图表绘制,用SPSS 23.0软件进行数据处理与显著性分析,多重比较采用Duncan's法,显著性水平为5%。

2 结果与分析

2.1 氮肥处理对不同生育时期谷子植株鲜质量及干质量的影响

由表1可知,拔节期的植株鲜质量和干质量随着氮肥施用量的增多而增加,但各氮肥处理间差异不显著;谷子抽穗期、灌浆期及成熟期的植株鲜质量和干质量随着氮肥施用量的增多呈现先增加后降低的趋势。其中,谷子抽穗期、灌浆期和成熟期的植株鲜质量在氮肥施用量300 kg/hm²(T4处理)时达到最大值,且氮肥施用量为150~300 kg/hm²时

的植株鲜质量显著高于对照($P<0.05$),当氮肥施用量达到450 kg/hm²时,植株鲜质量降低且显著低于其他处理($P<0.05$),但与对照无显著差异;谷子抽穗期及灌浆期的植株干质量在氮肥施用量为300 kg/hm²时达到最大值,且与对照及其他氮肥处理无显著差异;谷子成熟期的植株干质量在氮肥施用量为300 kg/hm²时达到最大值,其次是氮肥施用量为225 kg/hm²条件下的植株干质量,且2种氮肥处理条件下的植株干质量显著高于对照($P<0.05$)。

表1 谷子不同生育时期不同氮肥处理下植株鲜质量和植株干质量
Tab.1 Fresh weight and dry weight of millet plants under different nitrogen fertilizer treatments under different growth stages

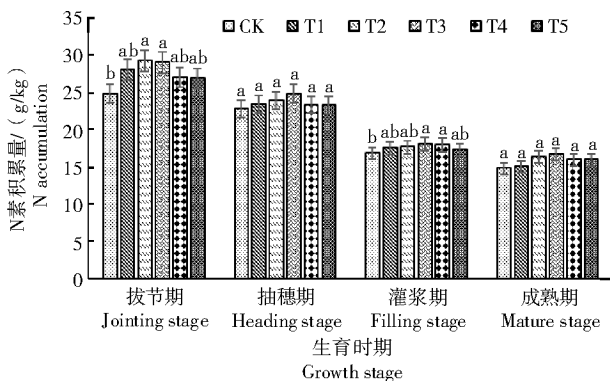
处理 Treatment	单株鲜质量 Fresh weight per plant				单株干质量 Dry weight per plant			
	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage	拔节期 Jointing stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Mature stage
CK	63.92±1.69a	100.16±0.59cd	108.15±0.86c	111.43±0.50d	13.50±0.58a	25.08±1.79a	35.41±2.70a	49.61±2.37b
T1	64.39±2.47a	103.42±0.49bc	113.20±1.26b	115.17±1.39c	13.72±1.18a	26.47±1.65a	37.17±3.86a	53.19±2.12b
T2	65.89±1.70a	106.39±2.42ab	117.73±1.24a	119.56±0.58b	13.88±0.69a	26.95±1.73a	40.90±4.11a	54.78±1.13ab
T3	66.67±2.20a	109.92±2.76a	121.67±2.35a	123.80±0.51a	13.73±0.34a	27.76±0.94a	43.63±2.16a	61.44±1.82a
T4	68.67±3.33a	110.59±0.47a	121.92±1.24a	124.41±0.78a	13.97±0.57a	29.54±1.57a	43.73±0.74a	61.62±1.76a
T5	70.08±1.24a	97.90±0.54d	108.68±0.75c	107.89±2.25d	14.22±0.35a	24.93±1.18a	36.80±1.36a	54.98±2.79ab

注:同一列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下表同。

Note: The different lowercase letters in the same line meant significant difference among treatments($P<0.05$). The same as below.

2.2 氮肥处理对不同生育时期地上部植株氮、磷、钾积累量的影响

谷子拔节期、抽穗期、灌浆期及成熟期的地上部植株全氮积累量随着氮肥施用量的增多均表现出先增加后减少的趋势(图1)。



不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。下图同

The different lowercase letters meant significant difference among treatments($P<0.05$). The same as below

图1 不同氮肥处理下谷子地上部植株全氮积累量
Fig.1 Total nitrogen accumulation of aboveground millet plants under different nitrogen fertilizer treatments

其中,在谷子拔节期,氮肥施用量为150~

225 kg/hm²时的全氮积累量达到最大值且与对照存在显著差异($P<0.05$),与其他氮肥处理下的全氮积累量差异不显著;谷子抽穗期、灌浆期和成熟期的地上部植株全氮积累量均在施氮量225 kg/hm²时达到最大值,而抽穗期和成熟期各氮肥处理和对照之间的全氮积累量无显著差异;灌浆期氮肥施用量为150~225 kg/hm²时植株全氮积累量显著高于对照($P<0.05$),与其他氮肥处理下的全氮积累量差异不显著。

谷子拔节期、抽穗期、灌浆期及成熟期的全磷积累量随着氮肥施用量的增多呈现先增加后减少的趋势(图2)。其中,谷子拔节期、抽穗期和灌浆期的地上部植株全磷积累量在氮肥施用量为150 kg/hm²时达到最大值,但各处理间植株全磷积累量无显著差异;谷子成熟期的地上部植株全磷积累量在氮肥施用量为150 kg/hm²时达到最大值,其次是氮肥施用量为225 kg/hm²,但2种施肥量下的全磷积累量与对照差异均不显著;氮肥施用量为450 kg/hm²时植株全磷积累量最小,且与氮肥施用量为150~225 kg/hm²时的全磷积累量差异显著($P<0.05$)。

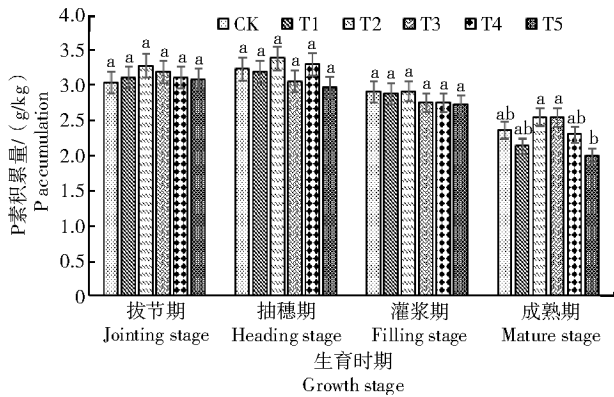


图2 不同氮肥处理下谷子地上部植株全磷积累量
Fig.2 Total phosphorus accumulation of aboveground millet plants under different nitrogen fertilizer treatments

从图3可以看出,在谷子拔节期,氮肥施用量为 300 kg/hm²时的地上部植株全钾积累量达到最大值,且氮肥施用量为 150~300 kg/hm²时的全钾积累量显著高于对照($P<0.05$);谷子抽穗期和成熟期各氮肥处理和对照之间的地上部植株全钾积累量无显著差异;谷子灌浆期氮肥施用量为 300 kg/hm²

时的全钾积累量达到最大值,且各氮肥处理下的地上部植株全钾积累量均显著高于对照($P<0.05$)。

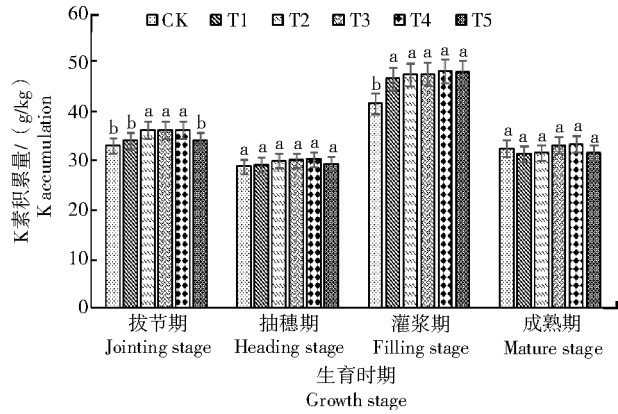


图3 不同氮肥处理下谷子地上部植株全钾积累量
Fig.3 Total potassium accumulation of aboveground millet plants under different nitrogen fertilizer treatments

2.3 氮肥处理对谷子产量及产量相关性状的
不同氮肥处理条件下谷子产量及产量相关性
状的变化如表2所示。

表2 不同氮肥处理下谷子产量及产量相关性状的变化
Tab.2 Changes in millet yield and yield-related traits under different nitrogen fertilizer treatments

处理 Treatment	株高/cm Plant height	穗长/cm Panicle length	单穗质量/g Weight per panicle	单穗粒质量/g Grain weight per panicle	千粒质量/g 1000-grain weight	产量/(kg/hm ²) Yield	出苗—抽穗 天数/d Emergence-Heading	生育期/d Growth duration
CK	187.13±1.05b	21.86±0.44a	22.29±1.53b	18.64±1.31b	3.19±0.02c	4 700.02±166.66b	58.33±0.33e	122.00±0.58d
T1	187.27±3.59b	22.73±0.77a	23.49±2.00ab	19.52±2.06ab	3.33±0.05b	5 233.36±169.15ab	58.67±0.33de	123.00±0.58cd
T2	186.80±0.72b	22.67±0.57a	24.57±1.28ab	20.23±1.05ab	3.39±0.01ab	5 300.03±160.73ab	59.33±0.33cd	124.00±0.58bc
T3	189.47±1.48b	22.53±0.41a	25.06±0.25ab	20.93±0.45ab	3.41±0.01a	5 491.69±320.27a	60.00±0.00c	124.33±0.33bc
T4	189.60±1.27ab	22.67±1.29a	26.62±0.30a	22.86±0.39a	3.43±0.01a	5 541.69±202.25a	61.67±0.33b	125.00±0.00b
T5	195.40±1.97a	22.47±0.44a	24.67±0.15ab	20.62±0.23ab	3.37±0.01ab	5 416.69±169.15a	63.33±0.33a	126.67±0.33a

从表2可以看出,随着氮肥施用量的增多,谷子株高与氮肥施用量呈现正相关关系,谷子穗长、单穗质量、单穗粒质量、千粒质量及产量均表现为先上升后下降的趋势。其中,谷子株高在氮肥施用量为 450 kg/hm²时达到最大值,且显著高于对照($P<0.05$),其他氮肥处理下的株高与对照相比无显著性差异;谷子穗长、单穗质量及单穗粒质量在氮肥施用量为 300 kg/hm²时达到最大值,且显著高于对照($P<0.05$),其他氮肥处理下的穗长、单穗质量及单穗粒质量与对照相比无显著差异;各氮肥处理下的千粒质量均显著高于对照($P<0.05$),且氮肥施用量为 300 kg/hm²时千粒质量达到最大值;谷子产量在氮肥施用量为 300 kg/hm²时达到最大值,且氮肥施用量在 225~450 kg/hm²时的产量均显著高于对照($P<0.05$);出苗—抽穗天数、生育期随着

氮肥施用量的增多呈现增加趋势,且氮肥施用量为 150~450 kg/hm²时,出苗—抽穗天数及生育期显著高于对照($P<0.05$)。

2.4 小米黄色素测定

从图4可以看出,不同氮肥处理对小米米色的 L*值、a*值和 b*值无显著影响,各氮肥处理下的 L*值、a*值和 b*值与对照相比均无显著差异。其中,L*值在氮肥施用量为 225 kg/hm²时,达到最大值;随着施氮量的增多,a*值呈现先增高后下降的趋势,施氮量为 150 kg/hm²时 a*值达到最大,但各处理间差异不显著;随着施氮量的增多,b*值同样呈现出先增高后下降的趋势,施氮量为 75~150 kg/hm²时的 b*值较大,且施氮量为 75 kg/hm²时 b*值达到最大,施氮量为 450 kg/hm²时的 b*值最小。

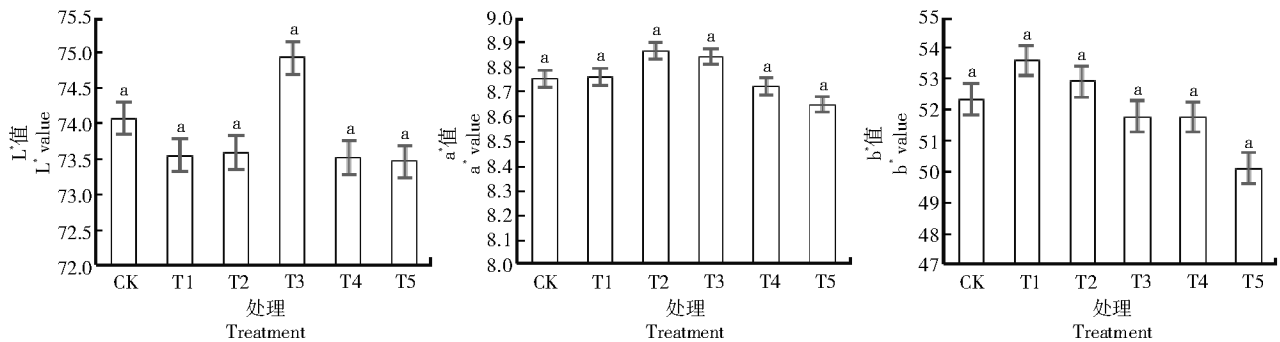


图4 不同氮肥处理下小米L*值、a*值及b*值的变化
Fig.4 Changes in L*, a*, and b* values of millet under different nitrogen fertilizer treatments

3 结论与讨论

3.1 不同氮肥施用量对谷子鲜质量、干质量及产量的影响

氮肥施用是实现谷子高产的关键措施之一^[17]。本试验结果表明,施氮处理的植株鲜质量和干质量均高于不施氮处理,随着生育时期的推进植株的鲜质量和干质量也逐渐增加。其中,谷子拔节期植株鲜质量和干质量随施氮量的增多而增加,原因是氮肥施用量越多,谷子苗期叶片生长越茂盛,枝叶徒长导致了拔节期谷子植株鲜质量和干质量与施氮量呈正相关关系。谷子抽穗期、灌浆期和成熟期的植株鲜质量和干质量随施氮量的增多均表现为先上升后下降的趋势,在氮肥施用量为300 kg/hm²时达到最大,其次是施氮量为250 kg/hm²,但二者之间的植株鲜质量和干质量差异不大,说明当氮肥施用量达到一定水平,继续增加施氮量对植株干物质积累起到的作用不明显;当氮肥施用量为450 kg/hm²时,谷子植株鲜质量及干质量呈下降趋势;原因可能是过度施用氮肥导致了枝叶徒长、植株纤细、生育期延长、抽穗期延迟及谷穗结实度低等问题。

不同氮肥施用量对谷子各生育期的各阶段均产生影响。本试验结果表明,施肥条件下的株高、穗长、单穗质量、单穗粒质量、千粒质量及产量均高于不施肥条件,氮肥施用量为300 kg/hm²时的产量及各产量构成因素的值最高,继续增施氮肥,产量增加不明显。出苗—抽穗天数、生育期随着氮肥施用量的增多呈现增加的趋势,且氮肥施用量为150~450 kg/hm²时,出苗—抽穗天数及生育期显著高于对照。表明适量施用氮肥可增加谷子产量,但随着施氮量增多,抽穗期和生育期显著延迟,导致谷子植株贪青晚熟、抽穗晚、生育期延迟,致使产量下降,这与张娣等^[24]的研究结果一致。

3.2 不同氮肥施用量对谷子地上部植株全N、P、K含量的影响

氮是植物蛋白质、氨基酸和其他化合物的重要组成部分;磷是磷脂和核酸的重要组成部分;钾对维持植物的渗透压平衡、促进酶的活化和提高植物抗逆性至关重要^[25]。谷子地上部(包括茎秆、叶片、穗部营养体和籽粒)氮、磷、钾含量因施肥量和生育期不同而异,通过本研究结果可以看出随着氮肥施用量的增多,谷子拔节期、抽穗期、灌浆期及成熟期的植株全氮积累量均表现出先上升后下降的趋势。其中,拔节期施氮量为150 kg/hm²时植株全氮积累量达到最大值且与对照存在显著差异;谷子抽穗期、灌浆期和成熟期的地上部植株全氮积累量均在施氮量225 kg/hm²时达到最大值。植株氮含量拔节期最高,随着生育进程的发展,植株个体发育增强,植株含氮量不断下降,这与解文艳等^[4]的研究结果一致。谷子各生育期植株全磷含量均在施氮量为150 kg/hm²时达到最大值,且不同氮肥处理及对照之间的植株全磷含量差异不显著,说明过量施用氮肥能引起植株全磷含量的下降,尤其在成熟期最为明显。谷子各生育期植株全钾含量均在施氮量为300 kg/hm²时达到最大值,且拔节期和灌浆期施肥条件下的植株全钾含量显著高于不施肥,抽穗期和成熟期各氮肥处理和对照之间的植株全钾积累量无显著差异;整个生育期植株全钾积累量呈单峰曲线,峰值出现在灌浆期。

3.3 不同氮肥施用量对小米黄色素的影响

色差仪是运用国际通用的色度空间对物体表面色度L*、a*、b*进行测量的仪器,具有速度快、精度高等优点。目前,已广泛应用于肉类、面粉、水果、茶叶等领域颜色的检测^[26-30]。张凡等^[31]采用模糊感官综合评价以及电子舌技术分析10种小米的食味品质,结果显示,感官评价得分高的小米粥具有较高黄度(b*值),得分最低的小米粥黄色色泽最差,

得分高的米粥往往具有更高的亮度(L*值),而10种小米粥的红绿度(a*值)差异不大。小米米色中的黄色主要为黄色素,黄色素含量是影响小米外观品质的主要因素^[32],小米黄色素组分主要是叶黄素、玉米黄质和少量的隐黄质和 β -胡萝卜素等类胡萝卜素^[33]。在本研究中,应用色差仪测量不同氮肥处理下的小米表面色度L*、a*、b*值均无显著性差异,随着氮肥施用量的增加小米表面色度L*值呈现先下降再上升而后下降的趋势,施氮量为225 kg/hm²时L*值达到最大;而a*和b*值均随着氮肥施用量的增多呈现先上升后下降的趋势,施氮量为150 kg/hm²时a*值达到最大,氮肥施用量为75 kg/hm²时b*值达到最大。说明225 kg/hm²氮肥施用量条件下的小米色泽更亮、米粥及外观品质可能会更受欢迎,而75 kg/hm²氮肥施用量条件下的小米黄色度更黄,过量施用氮肥不利于小米黄色素的形成,这与董倩楠等^[34]研究得出,随着氮肥用量的增加谷子中 β -胡萝卜素和叶黄素含量均呈现下降趋势的结果相似,也与赵丽洁等^[35]研究得出,随着尿素施用量的增加,谷子类胡萝卜素含量降低的结果一致。张婷等^[36]研究表明,L*值、a*值、b*值与小米外观品质有关,但是它们间的关系不是绝对的,如米色深黄的品种冀谷39,其L*值和b*值较高、a*值较低,而米色浅黄的品种济谷19,其L*值和b*值较低、a*值较高,它们属于均受大众喜爱的不同米色类型的品种。因此,在谷子品质育种当中,应当根据市场需求调整施肥量来进行米色选择。

本试验中,各氮肥处理条件下的小米表面色度L*、a*、b*值无显著性差异,可能是由于试验样本量较小,导致无法检测到真实的差异。下一步应增加不同氮肥处理下的样品重复次数,每一次重复下进行多次小米表面色度测量,以提高统计功效,更好地捕捉到潜在差异。

参考文献:

- [1] 侯思宇,刘超,马赞骁,等. 谷子基因组学研究进展[J]. 山西农业科学,2024,52(1):1-9.
HOU S Y, LIU C, MA Y X, et al. Progress in genomics research of millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(1):1-9.
- [2] 李君霞,马小倩,代书桃,等. 谷子品质性状研究进展[J]. 河南农业科学,2023,52(9):14-23.
LI J X, MA X Q, DAI S T, et al. Research progress on quality traits of foxtail millet[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2023, 52(9):14-23.
- [3] 何继红,李洋,董孔军,等. 施肥对旱地地膜覆盖栽培谷子产量的影响[J]. 河北农业科学,2010,14(11):59-61,130.
HE J H, LI F, DONG K J, et al. Study on the effects of fertiliza-
- tion on the yield of millet cultivated in plastic film on dry land[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2010, 14(11):59-61, 130.
- [4] 解文艳,周怀平,关春林,等. 旱地春谷子不同生育期吸收氮、磷、钾养分的特点[J]. 中国农学通报,2009,25(3):158-163.
XIE W Y, ZHOU H P, GUAN C L, et al. Characteristics of N, P and K uptake at different growth stages of spring millet on dry land[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2009, 25(3):158-163.
- [5] 孙常青,郭志利,屈非,等. 不同施肥条件对杂交谷叶绿素含量的影响[J]. 作物杂志,2014(3):72-76.
SUN C Q, GUO Z L, QU F, et al. The influence of different fertilization conditions on chlorophyll content of hybrid millet[J]. Crops, 2014(3):72-76.
- [6] 奚广生,王艳玲. 谷子施肥技术研究[J]. 安徽农业科学,2008,36(24):10549-10550.
XI G S, WANG Y L. Study on fertilization technology of millet [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(24):10549-10550.
- [7] 管延安,任莲菊,李晓云,等. 不同类型夏谷品种群体发育与干物质积累特点的研究[J]. 山东农业科学,1999,31(4):13-16.
GUAN Y A, REN L J, LI X Y, et al. Canopy development and dry matter accumulation characteristics of different types of summer millet varieties[J]. Shandong Agricultural Sciences, 1999, 31(4):13-16.
- [8] 裴雪霞,王秀斌,何萍,等. 氮肥后移对土壤氮素供应和冬小麦氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(1):9-15.
PEI X X, WANG X B, HE P, et al. Effect of postponing N application on soil N supply, plant N uptake and utilization in winter wheat[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(1):9-15.
- [9] FARNHAM D E. Row spacing, plant density, and hybrid effects on corn grain yield and moisture[J]. Agronomy Journal, 2001, 93(5):1049-1053.
- [10] BAETHGEN W E, CHRISTIANSON C B, LAMOTHE A G. Nitrogen fertilizer effects on growth, grain yield, and yield components of malting barley[J]. Field Crops Research, 1995, 43(2/3):87-99.
- [11] 张巽,王宏富. 不同生育时期喷施硒肥对谷子籽粒含硒量的影响[J]. 安徽农学通报,2009,15(14):85-86,235.
ZHANG X, WANG H F. Effect of spraying selenium fertilizer at different growth stages on selenium content in millet seeds[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2009, 15(14):85-86, 235.
- [12] 曾蓉. 氮肥运筹对谷子产量及品质的影响[D]. 太原:山西农业大学,2013.
ZENG R. Effects of nitrogen application on yield and quality of millet[D]. Taiyuan: Shanxi Agricultural University, 2013.
- [13] 代小冬,杨育峰,陈煜,等. 施肥对谷子农艺性状、产量及抗倒伏能力的影响[J]. 河南农业科学,2014,43(10):47-52.
DAI X D, YANG Y F, CHEN Y, et al. Effects of fertilization on agronomic traits, yield and lodging resistance ability of foxtail millet[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2014, 43(10):47-52.
- [14] 袁立新. 谷子顶三叶生长形态对产量的影响[J]. 作物杂志,1997(5):34-35.
YUAN L X. Effect of growth morphology of the top three leaves of millet on yield[J]. Crops, 1997(5):34-35.
- [15] 李会霞,王玉文,田岗,等. 谷子顶三叶形态研究[J]. 陕西农业科学,2007,53(1):9-11.
LI H X, WANG Y W, TIAN G, et al. Studies on the forms of millet upper 3 leaves[J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sci-

- ences, 2007, 53(1):9-11.
- [16] 王艳玲, 奚广生. 氮肥对谷子产量的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(34):15070, 15091.
WANG Y L, XI G S. Study on the effect of nitrogen fertilizer on the quality of millet[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2008, 36(34):15070, 15091.
- [17] 刘斌, 赵敏, 王显瑞, 等. 不同施氮量对谷子产量和效益的影响[J]. 耕作与栽培, 2013(5):11-12.
LIU B, ZHAO M, WANG X R, et al. Effects of different nitrogen fertilizer rate on yield and economic benefits millet[J]. Tillage and Cultivation, 2013(5):11-12.
- [18] 冯志威, 杨艳君, 郭平毅, 等. 谷子光合特性及产量最优的氮磷肥水平与细胞分裂素 6-BA 组合研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(3):634-642.
FENG Z W, YANG Y J, GUO P Y, et al. Optimum combining rate of N and P fertilizer with 6-BA for highest photosynthetic efficiency and yield in foxtail millet[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2016, 22(3):634-642.
- [19] 秦岭, 杨延兵, 管延安, 等. 施氮量和留苗密度对不同株型谷子产量及产量相关性状的影响[J]. 山东农业科学, 2013, 45(5):60-63.
QIN L, YANG Y B, GUAN Y A, et al. Effects of different planting densities and nitrogen application levels on yield and its related traits of foxtail millet[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2013, 45(5):60-63.
- [20] 杨艳君, 郭平毅, 曹玉凤, 等. 施肥水平和种植密度对张杂谷 5 号产量及其构成要素的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(12):2278-2285.
YANG Y J, GUO P Y, CAO Y F, et al. Effects of fertilizer and planting density on yield and yield components in foxtail millet hybrid zhangzagu 5[J]. Acta Agronomica Sinica, 2012, 38(12):2278-2285.
- [21] 杨艳君, 王宏富, 郭平毅, 等. 施肥和密度对张杂谷 5 号光合特性及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(3):566-576.
YANG Y J, WANG H F, GUO P Y, et al. Effects of fertilization and density on photosynthetic characteristics and yield of hybrid foxtail millet[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizer, 2013, 19(3):566-576.
- [22] 张谨华, 王建军, 杨艳君, 等. 不同施肥水平下谷友对晋谷 21 号光合特性及产量的影响[J]. 作物杂志, 2015(2):144-148.
ZHANG J H, WANG J J, YANG Y J, et al. Effect of fertilizer and herbicide on photosynthetic characteristics and yield of foxtail millet[J]. Crops, 2015(2):144-148.
- [23] 郝子义, 李亚伟, 何继红, 等. 施氮水平对谷子干物质积累分配及氮素利用率的影响[J]. 山西农业科学, 2024, 52(3):50-59.
HAO Z Y, LI Y W, HE J H, et al. Effects of nitrogen application levels on dry matter accumulation, distribution, and nitrogen utilization efficiency in foxtail millet[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2024, 52(3):50-59.
- [24] 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.
- [25] 李佳, 曹国军, 耿玉辉, 等. 不同供氮水平对春玉米干物质积累及氮素吸收利用的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(27):208-212.
LI J, CAO G J, GENG Y H, et al. Effects of different nitrogen application rates on dry matter accumulation, nitrogen absorption and utilization of spring maize[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(27):208-212.
- [26] 任夏, 邱军, 段苏珍, 等. 色差仪在烤烟烟叶颜色检测中的应用[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7):335-337.
REN X, QIU J, DUAN S Z, et al. Application of color difference meter in color detection of flue-cured tobacco leaves[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2014, 42(7):335-337.
- [27] SARRIÉS M V, BERIAIN M J. Colour and texture characteristics in meat of male and female foals[J]. Meat Science, 2006, 74(4):738-745.
- [28] 孙向东, 王乐凯, 任红波, 等. 色彩色差计在面粉色泽测定上的应用[J]. 粮油食品科技, 2002, 10(2):31-33.
SUN X D, WANG L K, REN H B, et al. The application of tristimulus colorimeter in the determination of flour color[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2002, 10(2):31-33.
- [29] SALVADOR A, SANZ T, FISZMAN S M. Changes in colour and texture and their relationship with eating quality during storage of two different dessert bananas[J]. Postharvest Biology and Technology, 2007, 43(3):319-325.
- [30] 严俊, 林刚. 测色技术在茶叶色泽及品质评价中的应用研究: (二) 茶叶色泽的测定[J]. 茶业通报, 1995, 17(2):1-3.
YAN J, LIN G. Study on the application of color measurement technology in the evaluation of tea color and quality-(2) determination of tea color[J]. Journal of Tea Business, 1995, 17(2):1-3.
- [31] 张凡, 李书田, 王显瑞, 等. 不同品种小米蒸煮食味品质评价及比较[J]. 食品科学, 2020, 41(9):23-29.
ZHANG F, LI S T, WANG X R, et al. Comparative evaluation and analysis of cooking and eating quality of different foxtail millet varieties[J]. Food Science, 2020, 41(9):23-29.
- [32] YANG X Y, WAN Z W, PERRY L, et al. Early millet use in Northern China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(10):3726-3730.
- [33] 杨延兵, 管延安, 秦岭, 等. 不同地区谷子小米黄色素含量与外观品质研究[J]. 中国粮油学报, 2012, 27(1):14-19.
YANG Y B, GUAN Y A, QIN L, et al. The studies on yellow pigment content and appearance quality of millet from different regions[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2012, 27(1):14-19.
- [34] 董倩楠, 刘艳芳, 程丽萍, 等. 不同施肥条件对谷子 β -胡萝卜素和叶黄素含量的影响[J]. 核农学报, 2018, 32(5):1003-1008.
DONG Q N, LIU Y F, CHENG L P, et al. Effect of different fertilization conditions on the content of β -carotene and lutein in foxtail millet[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(5):1003-1008.
- [35] 赵丽洁, 赵海燕, 韩根兰, 等. 氮肥配施有机肥对谷子品质的影响[J/OL]. 作物杂志, 2023:1-12. (2023-09-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1808.S.20230922.0825.002.html>.
ZHAO L J, ZHAO H Y, HAN G L, et al. Effects of nitrogen fertilizer combined with organic fertilizer on quality of millet[J/OL]. Crops, 2023:1-12. (2023-09-22). <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1808.S.20230922.0825.002.html>.
- [36] 张婷, 王根平, 罗焱杰, 等. 色差分析在优质小米选育中的应用[J]. 中国农业科学, 2021, 54(5):901-908.
ZHANG T, WANG G P, LUO Y J, et al. Color difference analysis in the application of high quality foxtail millet breeding [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(5):901-908.