



马子竣,焦少杰,王黎明,等. 氮肥施用量对矮化酿造型高粱籽粒品质和产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2024(9):7-14.

氮肥施用量对矮化酿造型高粱籽粒品质和产量的影响

马子竣¹,焦少杰²,王黎明¹,姜艳喜¹,严洪冬¹,苏德峰¹,吴振阳¹

(1. 黑龙江省农业科学院 作物资源研究所,黑龙江 哈尔滨 150086; 2. 黑龙江省农业科学院,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:为探明早熟区酿造型高粱的合理氮肥用量,选择高粱品种龙杂 22 和龙杂 25 为试验材料,2020 和 2021 年设置 0,60,120,180,240 和 300 kg·hm⁻² 共 6 个不同施氮量,研究不同施氮处理对粗淀粉含量、千粒重、单宁含量、籽粒产量和干物质产量的影响。结果表明,随着施氮量的增加矮化酿造型高粱的籽粒千粒重,2020 年先降低后升高再降低,2021 年先升高再降低后升高再降低,籽粒产量和籽粒干物质产量各处理间差异不显著,淀粉含量逐渐降低,单宁含量 2020 年 2 个品种和 2021 年龙杂 22 均低于 1.40%。2021 年龙杂 25 的 N2 处理为 1.42%,接近 1.40%,利于出酒率和酿酒品质的提升。综合千粒重、籽粒产量、干物质产量、淀粉含量和单宁含量的多元方差分析结果显示,N2、N3 处理间差异不显著,二者与 N4 之间差异显著,从环保、减排角度考虑应该优先选择氮肥投入量较低的 N2 处理。施氮处理对粗淀粉和干物质积累量影响极显著,对产量、千粒重影响显著,对单宁含量影响不显著。N2 处理下籽粒中 N、P、K 元素含量较高,说明该处理下植株向籽粒转运养分元素较多能为产量形成提供保障。综合考虑,N2 处理(施肥量 P₂O₅:75 kg·hm⁻²、K₂O:30 kg·hm⁻²、N:120 kg·hm⁻²)可获得较好的籽粒产量和品质,籽粒产量在 557.87~589.15 kg·(667 m²)⁻¹ 之间。

关键词:高粱;氮肥;产量;品质

高粱(*Sorghum bicolor* L. Moench)是一种重要粮食作物^[1],籽粒中含有淀粉、蛋白、脂类、维生素等营养^[2]和丰富的酚酸类物质具有抗氧化能力^[3-4]。能够改善酿造过程中的菌落、提升白酒风味^[5],在保健食品加工^[6],白酒、食醋酿造^[7],畜牧养殖^[8],盐渍土壤改良^[9]等方面具有广泛用途。高粱矮化育种技术使得可用播种面积大幅度增长,近年来国内高端白酒行业转型升级、产业化开发拉动高粱种植收益提升,使得高粱产业再次迎来新的发展机遇^[10]。

中国过去几十年间氮肥用量大幅度增加,但是氮肥利用效率下降显著^[11]。氮肥过度投入会导致作物病害、虫害加重^[12],产量降低^[13-15],加剧农田温室气体排放^[16],污染地表水体^[17]和地下水^[18]。受农业生产施氮影响,中国 85% 以上地表水富营养化,北方农区地下水氮污染问题严重^[19],居民饮用水安全已经受到威胁。

适当的氮肥施用量对高粱产量有促进作用,施氮量过高会降低籽粒产量和品质^[20]。当前,保护黑土地和肥沃耕地已上升为国家战略^[21],东北地区在高粱种植区划中属于早熟区,是高粱主产区之一^[10],同时也是世界三大黑土带之一^[22]。保障高粱生产同时兼顾黑土地保护和环境保护显得尤为重要。目前早熟区酿造型高粱生产常规氮

肥施用量为 180 kg·hm⁻²,本研究在黑龙江省南部哈尔滨市进行试验选用龙杂 22 和龙杂 25 为试验材料在不同施氮处理下,对其干物质产量、籽粒的千粒重、产量、淀粉含量、单宁含量、N、P、K 含量进行分析,旨在找到兼顾早熟矮秆高粱产量、品质和肥料利用效率的合理氮肥施用量,以期指导早熟区酿造型高粱生产中的氮肥合理施用。

1 材料与方

1.1 试验地概况

2020 年和 2021 年 2 年在黑龙江省哈尔滨市道外区民主乡国家现代农业科技示范展示基地进行,为温带大陆性气候,土壤疏松,黑钙土,秋整地,耕层(0~20 cm)土壤 pH6.83,有机质含量 29.35 g·kg⁻¹,水解氮含量 124.00 mg·kg⁻¹,有机磷含量 43.35 mg·kg⁻¹,速效钾含量 222.50 mg·kg⁻¹。

1.2 材料

高粱材料:采用两个杂交矮化粒用酿造型高粱品种进行试验。龙杂 22,登记编号 GPD 高粱(2019)230118,熟期 105 d,株高 120 cm,穗型中紧,纺锤形穗,穗长 27 cm,套袋自交率 95% 以上,壳黑色,褐色粒,籽粒单宁含量 1.2%;龙杂 25,登记编号 GPD 高粱(2022)230034,熟期 110 d,株高 121 cm,叶片数 13 片,穗型中散,纺锤形穗,穗长 27 cm,套袋自交育性 95% 以上,壳色深红,褐色

收稿日期:2023-11-20

基金项目:国家谷子高粱产业技术体系(CARS-06-14.5-A1);黑龙江省重点研发计划(GA21B009);黑龙江省农业科技创新跨越工程农业科技基础创新优秀项目(CX22YQ19);黑龙江省杂粮作物遗传改良重点实验室;寒地专用品种技术集成创新及产业化(CXHDZU-2)。

第一作者:马子竣(1986-),男,硕士,助理研究员,从事高粱育种与资源创新。E-mail:amur1233@qq.com。

粒,籽粒单宁含量 1.44%,种子由黑龙江省农业科学院作物资源研究所高粱育种团队提供。

肥料:恒盛牌优等品尿素总 $N \geq 46\%$,颗粒范围 0.85~2.80 mm,由江苏晋煤恒盛化工股份有限公司生产(50 kg 每袋);罗布泊牌优等品 $K_2SO_4, K_2O \geq 52\%$,由国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产(50 kg 每袋);中化牌磷酸二铵传统法优等品,总养分 $\geq 64\%$,中化化肥有限公司生产(50 kg 每袋)。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 随机区组设计,各小区施用磷($P_2O_5:75 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)、钾($K_2O:30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)量相同。设置 N1~N5 共 5 个不同氮肥施用量处理,分别为 60,120,180,240 和 $300 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,以不施氮肥为对照处理 N0。小区行长 5 m,垄距 65 cm,8 行,小区面积 26 m^2 ,3 次重复。

1.3.2 测定项目及方法 成熟期籽粒成熟各小区去除边际效应取单位面积内全部穗测定单位面积株数,人工脱粒 3 次重复测定以下性状:籽粒产量(Kett 公司生产 PM-8188-A 谷物水分测定仪测定含水量后按 13%含水量折算)、籽粒单宁含量(GB/T 15686-2008)、粗淀粉含量(GB/T 5006-1985)、千粒重。成熟期每小区排除边际效应随机连续取样 5 株在基节割断,地上部烘干至恒重称量干物重,根据单位面积株数折算公顷干物质产量。

籽粒氮素含量 = 籽粒产量 \times 氮素含量^[23]

籽粒磷素含量 = 籽粒产量 \times 磷素含量

籽粒钾素含量 = 籽粒产量 \times 钾素含量

1.3.3 数据分析 采用 WPS pro 软件进行数据处

理和文字编辑,利用 DPS 18.10 系统进行 Duncan's 显著性检验和多元方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用量对矮化酿造型高粱千粒重及产量的影响

2.1.1 千粒重 高粱千粒重是评价籽粒品质的重要指标之一,一般来说千粒重越高,籽粒体积大、质量好、加工品质越好、收购价格也更高。由图 1 可知,2020 年,龙杂 25 的千粒重处理间差异不显著,随施氮量增加千粒重整体呈降低趋势,在 N3 处理下有所升高,达到 27.60 g,然后随着施氮量的增加在 N4 处理下降低为 25.60 g,在 N5 处理下略有升高,为 25.87 g;龙杂 22 千粒重随着施氮量增加整体上呈降低趋势,从处理 N0 的 26.8 g 逐渐降低,N2 处理降低到 24.27 g 与 N0 和 N1 处理差异极显著,随施氮量升高在 N3 处理有所升高,但与 N2 差异不显著,随着施氮量增加 N4 和 N5 处理的千粒重逐渐降低。

2021 年,龙杂 25 的千粒重随着施氮量增加 N1 较 N0 略有升高,施氮量增加到 N2 处理水平千粒重显著降低,仅有 24.93 g,在 N3 处理下千粒重又显著升高,为 27.47 g,随施氮量增加在 N4 处理千粒重降低,为 26.13 g,随施氮量增加在 N5 处理下千粒重略有升高,为 26.40 g;龙杂 22 的千粒重 N0 处理为 25.73 g,随着施氮量增加逐渐升高,N2 处理为 26.13 g,随着施氮量再度增加,N3 处理千粒重降为 25.60 g,在 N4 处理下千粒重略有升高,为 26.27 g,在 N5 处理下降低为 25.07 g,各处理间差异不显著。

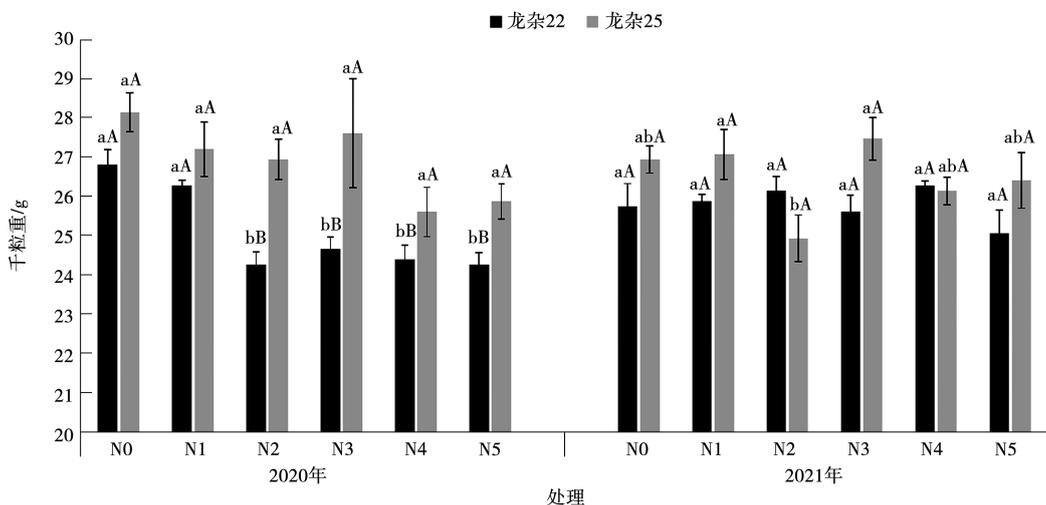


图 1 不同氮肥施用量对 2020 年和 2021 年矮化酿造型高粱千粒重的影响

注:不同大小写字母表示在 $P < 0.01$ 水平和 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

2.1.2 籽粒产量 由图 2 可知,2020 年和 2021 年 2 年各处理间的籽粒产量之间均无显著性差异。其

中,2020 年,龙杂 25 在 N1 处理下籽粒产量最高,达 $605.73 \text{ kg}\cdot(667 \text{ m}^2)^{-1}$,随施氮量增加 N2 处理产量

降低为 $558.29 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 随着施氮量再度增加, 在 N4 处理产量增加为 $578.08 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 在 N5 处理下又有所降低。随施氮量增加龙杂 22 产量从 N0 到 N2 处理逐渐升高, 达到 $557.87 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 从 N2 到 N4 处理产量逐渐降低, 然后在 N5 处理达到最高, 为 $570.10 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$ 。

2021 年, 龙杂 25 和龙杂 22 均为 N2 处理产量最高。随着施氮量增加龙杂 22 籽粒产量逐渐升高, 在 N2 处理达到 $588.04 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 然后逐渐降低。随施氮量增加龙杂 25 的产量在 N2 处理达到最高 $589.15 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 在 N3 处

理降低为 $489.68 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$, 在 N4 处理略有升高, 在 N5 处理再次降低。

2020 年, 龙杂 25 在较低施氮量 N1 处理下产量最高, 龙杂 22 虽然在 N5 处理产量最高, 但是施氮量也最高, N2 处理产量为第二高值, 与 N5 产量差异不显著, 且为较低施氮量。2021 年, 籽粒产量先升高后降低, 龙杂 22 和龙杂 25 的产量均在 N2 处理达到最高, 说明籽粒产量并非随着氮肥投入量的增加而直线增加, 过高的氮肥投入会造成一定程度的减产, 在 N2 或 N1 处理下均有较好的产量。

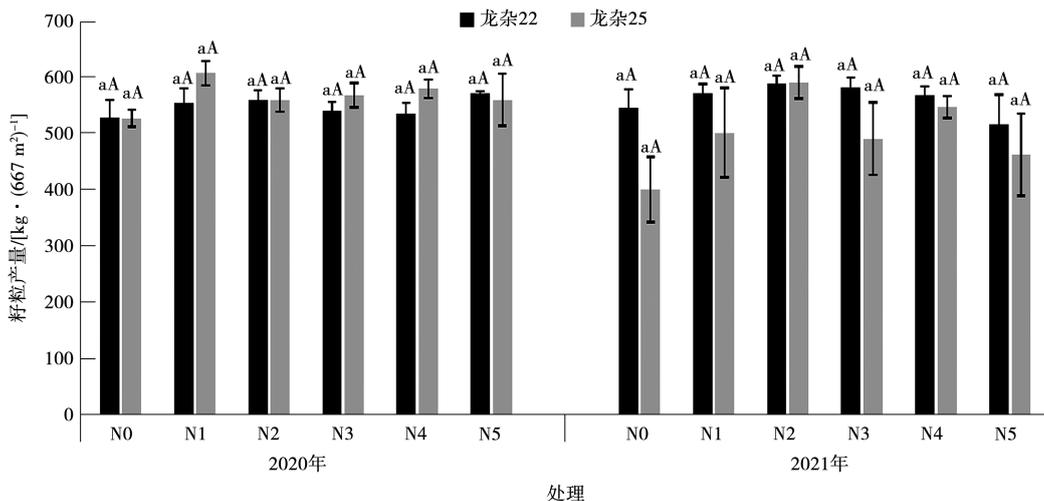


图2 不同氮肥施用量对2020年和2021年矮化酿造型高粱籽粒产量的影响

2.1.3 干物质产量 由图3可知, 2020年, 龙杂 22 在 N2 处理下干物质产量最高, 达 $27.55 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, 龙杂 25 在 N4 处理最高, 达 $28.48 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$, N2 处理次之。2021 年, 龙杂 22 在 N3 处理干物质产量最高, 龙杂 25 在 N2 处理干物质产量最高。

随着施氮量的增加先升高后降低再升高, 龙杂 22 呈现出先降低后升高再降低最后升高的趋势。综上所述, 在 N2、N3 处理的中等氮肥施用条件下会有较高的干物质产量, 干物质的总体积累是光合产物积累的表现, 也是产量的保障。

2020 年和 2021 年龙杂 25 的干物质积累量

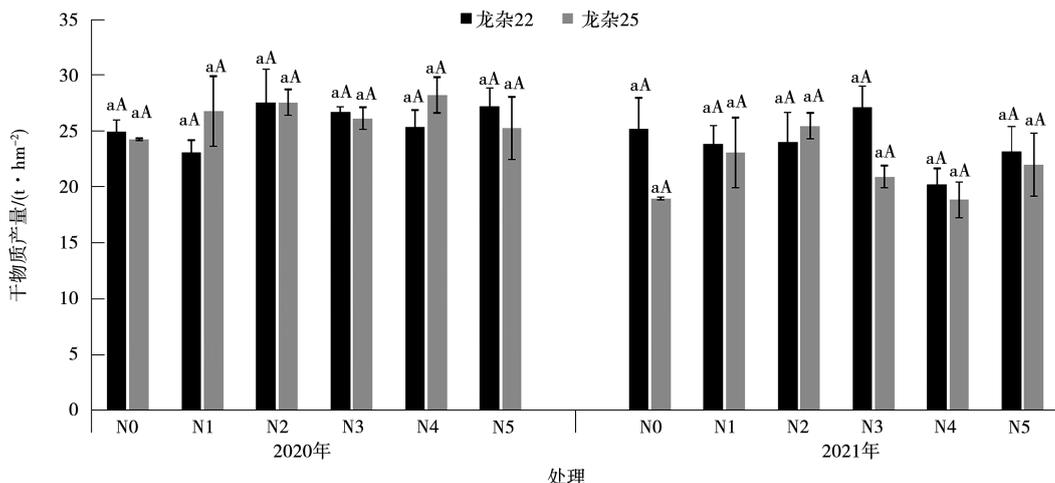


图3 不同氮肥施用量对2020年和2021年矮化酿造型高粱干物质产量的影响

2.2 不同氮肥施用量对矮化酿造型高粱品质的影响

2.2.1 粗淀粉含量 由图4可知,2020年,龙杂25的籽粒粗淀粉含量N2与N1间无显著性差异,N2与N3间差异显著;龙杂22在N2与N0间差异显著、与N1间差异不显著;龙杂22和龙杂25均表现为N5较处理N1、N0的粗淀粉含量极显著降低。

2021年,龙杂25的N1、N2处理的粗淀粉含量差异不显著,二者极显著低于N0,显著高于N4;龙杂22的粗淀粉含量在N3与N2处理间差异不显著,二者极显著低于N0处理。

2020年和2021年龙杂25和龙杂22的粗淀粉含量整体上随着施氮量增加均呈现降低趋势,由此可知,过高施氮量会使高粱籽粒中的粗淀粉含量显著降低。

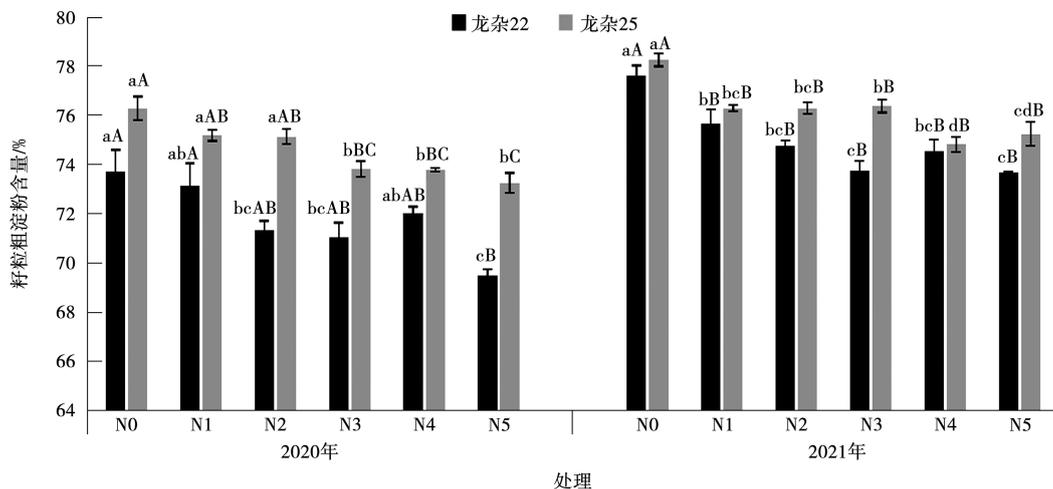


图4 不同氮肥施用量对2020年和2021年矮化酿造型高粱籽粒粗淀粉含量的影响

2.2.2 单宁含量 由图5可知,2020年,龙杂25和龙杂22单宁含量各处理间无显著性差异。龙杂25的N2、N4、N5处理的单宁含量均低于1.30%,N0、N3处理的单宁含量最高,分别为1.33%和1.34%。龙杂22的N3处理单宁含量最低,低于1.00%,其余各处理的单宁含量均在1.00%~1.20%之间。

2021年,龙杂25各处理单宁含量均高于1.30%,其中N0和N1处理最高,分别为1.53%和1.56%,N2、N5的单宁含量较低分别为1.42%、1.41%,均接近1.40%。龙杂22各处理单宁含量均在1.00%~1.20%之间。说明,在N2处理下的籽粒单宁含量有利于出酒率和出酒品质的提升。

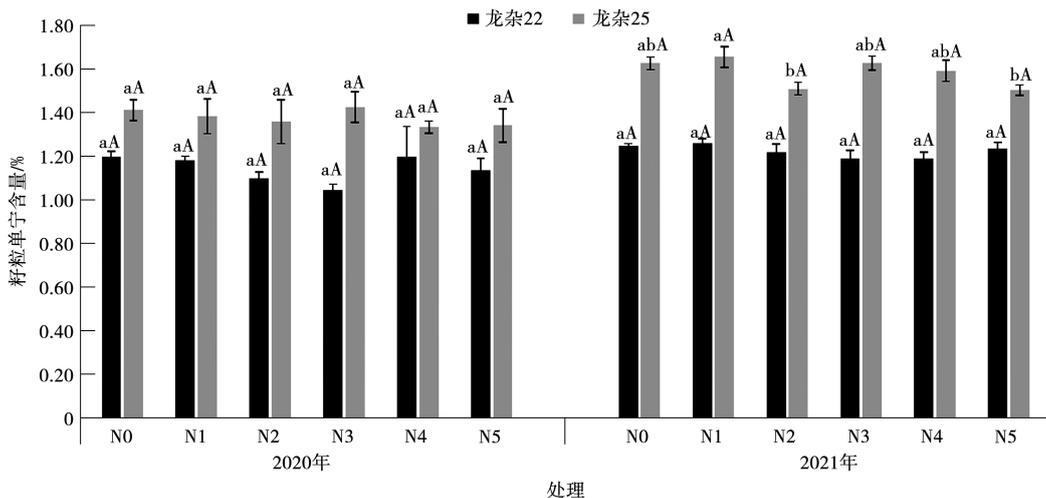


图5 不同氮肥施用量对2020年和2021年矮化酿造型高粱籽粒单宁含量的影响

2.3 不同施氮量对矮化高粱产量和品质影响的多元方差分析

由表 1 可知,不同施氮量处理下矮化高粱的千粒重、籽粒产量、干物质产量、淀粉含量、单宁含量的多元方差分析结果显示,N0 与 N1 处理间差异不显著,与 N2 之间差异显著。N1 与 N2、N3 之间差异不显著,与 N4、N5 之间差异极显著。N2 与 N3 之间差异不显著,与 N4 之间差异显著,与 N5 之间差异极显著。N3 与 N4 之间差异显著,与 N5 之间差异不显著。说明综合高粱产量、淀粉含量、千粒重、单宁含量、干物质产量,N2、N3 处理间差异不显著,但从环保、减排角度考虑应该优先选择氮肥投入量较低的 N2 处理。

表 1 结合产量和品质性状的处理间多元方差分析

| 项目 | N0 | N1 | N2 | N3 | N4 | N5 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N0 | | 0.3869 | 0.0479 | 0.0099 | 0.0001 | 0.0000 |
| N1 | 1.0678 | | 0.5505 | 0.6070 | 0.0096 | 0.0033 |
| N2 | 2.3888 | 0.8049 | | 0.2961 | 0.0182 | 0.0097 |
| N3 | 3.3350 | 0.7254 | 1.2520 | | 0.0408 | 0.0688 |
| N4 | 6.1502 | 3.3497 | 2.9683 | 2.4860 | | 0.8348 |
| N5 | 7.9093 | 3.9893 | 3.3460 | 2.1703 | 0.4176 | |

注:下三角数据为均值差及统计量,上三角数据为 P 值。 $P < 0.05$ 说明差异显著, $P < 0.01$ 说明差异极显著。

由表 2 可知,施氮处理对粗淀粉和干物质产量影响极显著,对产量、千粒重影响显著,对单宁含量影响不显著。由此可知,氮肥的合理施用直接影响到酿造型高粱的产量、千粒重、粗淀粉和干物质产量,从而影响到酿造型高粱的白酒产出效

率和种植产出量和产出原粮的销售价格。说明合理的氮肥施用量能够影响到高粱的产量、品质以及后续酿造白酒产量从而影响到高粱生产以致影响到后续酿酒的经济效益。

表 2 各性状受施氮处理影响显著性比较

| 性状 | F 值 | P 值 |
|-------|--------|--------|
| 产量 | 2.3659 | 0.0490 |
| 千粒重 | 2.8449 | 0.0219 |
| 粗淀粉 | 4.7966 | 0.0008 |
| 单宁 | 0.3080 | 0.9065 |
| 干物质产量 | 3.8069 | 0.0043 |

2.4 不同氮肥施用量对矮化酿造型高粱 N、P、K 含量的影响

由表 3 可知,2020 年,龙杂 22,籽粒 N 含量 N2 显著高于 N3,籽粒 K 含量 N2 显著高于 N3,籽粒 P 含量 N2 与 N3 处理间无统计学差异;龙杂 25,N2 处理的籽粒 N 含量、K 含量、P 含量均高于 N1 和 N3 处理,但差异不显著。

2021 年,龙杂 22,籽粒 N 含量 N2 处理高于 N1、N3 处理,但差异不显著,籽粒 K 含量 N2 处理略低于 N3 处理,差异不显著,籽粒 P 含量 N2 处理略低于 N3 处理,二者无统计学差异;龙杂 25,N2 处理的籽粒 N 含量、P 含量、K 含量分别高于 N1、N3 处理,但差异不显著。由此可见,N2 处理下籽粒 N、P、K 元素积累较高,说明该处理下植株向籽粒转运养分元素较多,为产量形成提供了有力的保障。

表 3 不同氮肥施用量对矮化酿造型高粱 N、P、K 含量的影响

单位: $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

| 品种 | 处理 | 2020 年 | | | 2021 年 | | |
|-------|----|-----------|-----------|----------|-----------|----------|---------|
| | | N | P | K | N | P | K |
| 龙杂 22 | N0 | 106.28 bc | 48.03 b | 65.51 a | 85.37 b | 28.49 b | 36.62 a |
| | N1 | 120.78 ab | 45.23 b | 61.11 a | 120.23 a | 32.26 ab | 37.58 a |
| | N2 | 121.42 ab | 47.64 b | 65.06 a | 134.48 a | 30.08 ab | 37.95 a |
| | N3 | 94.21 c | 45.84 b | 53.58 b | 129.00 a | 37.14 a | 41.65 a |
| | N4 | 125.21 ab | 55.42 a | 68.05 a | 143.66 a | 32.28 ab | 38.42 a |
| | N5 | 127.22 a | 56.41 a | 68.84 a | 132.40 a | 29.29 ab | 36.37 a |
| 龙杂 25 | N0 | 61.48 b | 23.20 d | 41.93 b | 68.72 b | 18.75 b | 29.53 a |
| | N1 | 92.47 ab | 30.55 c | 47.91 b | 97.60 ab | 24.90 ab | 34.16 a |
| | N2 | 106.44 a | 35.28 abc | 53.42 ab | 129.66 a | 29.09 a | 43.77 a |
| | N3 | 86.17 ab | 30.95 bc | 45.86 b | 108.03 ab | 24.82 ab | 33.73 a |
| | N4 | 108.45 a | 39.04 a | 60.55 a | 120.47 a | 29.44 a | 40.32 a |
| | N5 | 115.58 a | 38.46 ab | 61.33 a | 103.32 ab | 23.86 ab | 32.68 a |

注:不同小写字母表示处理间在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

3 讨论

中国白酒历史悠久,因发酵工艺和原料造成酒体香气有差异,根据“色、香、味、格”被分为12种香型^[24-25],这其中有9种香型白酒发酵原料用到高粱^[26],高粱的加入会使酒体更绵甜^[27-28]。发酵原料中含有的淀粉是发酵过程中微生物的碳源,淀粉的含量、结构和支直比以及高粱中单宁含量均会影响到白酒风味^[26,28-29]。

高粱中单宁含量会影响酿造白酒的风味和出酒率,适量单宁能够抑制发酵过程中有害微生物且能生成酚类化合物,赋予高粱白酒香味^[30]。高粱籽粒中单宁含量高低对出酒率和出酒品质均有影响,低于单宁含量1.00%时出酒率较低且出酒品质较低;1.00%~1.20%之间时出酒率高、出酒品质也高;高于1.30%时出酒率略有降低,但出酒品质提升^[31],单宁含量高于1.40%会抑制出酒率^[32]。本研究中,2021年龙杂25处理N₂、N₆的单宁含量较低,分别为1.42%、1.41%,接近1.40%,其余各处理的单宁含量均高于或等于1.50%。龙杂22各处理单宁含量均在1.00%~1.20%之间。高粱籽粒适当单宁含量会产生酸、酮类物质赋予酒体香气,但单宁含量超过1.40%时,有可能会降低出酒率^[32-33]。高粱中单宁含量会影响发酵细菌菌群进而影响发酵走向^[34]。单宁含量在1.50%以下能够促进乳酸菌和醋酸菌生长,当含量为3.00%~6.00%时乳酸菌和醋酸菌生长均受抑制,在单宁含量超过6.00%时乳酸菌和醋酸菌不能生长^[35]。说明,在N₂处理下的籽粒单宁含量既有利于出酒率提升,又能够促进酒体风味形成,提升白酒品质。

产量高低直接影响到种植生产的经济效益,千粒重的大小直接关系到高粱籽粒收购原粮等级的划分,以致于影响售粮单价。白酒发酵为发酵菌将淀粉转化为乙醇的生物反应过程,所以淀粉和干物质含量的高低影响着酿造生产的出酒率。高杰等^[36]对糯高粱品种红缨子进行氮肥试验,表明氮素积累量、干物质积累量、产量均随施氮量增加呈现先升高后降低趋势。张瑞栋等^[37]对高粱品种晋杂23进行氮肥和密度试验表明,在低密度和中高密度下产量随着施氮量增加而增加,在225 kg·hm⁻²施氮量下产量达到最高,而后产量随着施氮量的增加出现降低。本研究中,只有2021年龙杂22表现出随施氮量增加产量先升高后降低,2020年龙杂22和龙杂25及2021年龙杂25

随施氮量增加产量先升高后降低,但随施氮量再度升高产量也升高,这可能是由于本研究中高粱品种适宜的施氮水平与前人试验材料有差异,或者前人施氮量设置未达到再次升高的高施氮水平,本研究中在N₂处理下即可收获较高的籽粒产量。

N、P、K元素是作物生长必需的三大元素,不同的氮肥处理会影响到N、P、K元素籽粒转运与利用,开花期之后植株向籽粒转运养分元素是产量形成的重要因素之一。中等施氮水平可获得较高产量,过高或过低的施氮量均不利于高产形成^[38-39]。氮肥不仅会影响到土壤养分利用,还会影响农作物品质^[40]。高施肥量会造成土壤无机氮含量增加^[38,41],过低氮肥投入会造成土壤养分含量降低^[38]。较高氮肥施入可以弥补水分亏缺对产量的负面影响^[42]。关于水稻的研究证实在开花后植株向籽粒转运氮素是产量形成的重要因素之一^[43]。在本研究中,综合产量和品质方差分析显示,N₁、N₂、N₃之间无显著差异,在N₂施氮量处理下两年两品种的籽粒N、P、K含量,除2021年龙杂22的籽粒P、K含量外,均高于N₁和N₃处理,所以N₂处理下的施氮量有利于养分向籽粒的转运,能够以促进籽粒产量的形成。

本研究中N₂处理比产区农户作业常规N₃施氮量降低60 kg·hm⁻²,近年中国高粱播种面积在72万hm²以上^[44],在高粱生产中如果做到减氮60 kg·hm⁻²,全国高粱生产中可节约纯氮4.32×10⁷ kg,如果按含氮量46%尿素折计为9.391×10⁴ t,尿素按2500元·t⁻¹人民币计算可节约2.34亿元以上,能够节省大笔开支,同时可有效促进籽粒产量和品质提升。

4 结论

施氮量对高粱千粒重和干物质产量影响极显著,对单宁含量影响不显著,对籽粒产量影响显著。淀粉、千粒重和单宁含量呈现出随施氮量增加而降低的趋势,随施氮量增加籽粒产量和干物质产量呈现先升高后降低再升高的趋势。在N₂施肥量(N:120 kg·hm⁻²,P₂O₅:75 kg·hm⁻²,K₂O:30 kg·hm⁻²)下2020年龙杂22和龙杂25籽粒产量为557.87和558.29 kg·(667 m²)⁻¹,2021年龙杂22和龙杂25籽粒产量为588.04和589.15 kg·(667 m²)⁻¹;2020年龙杂22和龙杂25单宁含量为1.04%和1.28%,2021年龙杂22和龙杂25单宁含量为1.15%和1.42%;2020年龙杂22和龙杂25淀粉

含量为 71.33% 和 75.13%, 2021 年龙杂 22 和龙杂 25 淀粉含量为 74.77% 和 76.29%, 既可节约氮肥施用量又可获得较好的籽粒产量与品质, 适宜在早熟高粱产区推广应用。

参考文献:

- [1] RUBINA R, DENISSE B, REGUNE S. Sorghum and its potential for the Western diet[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104.
- [2] ABAH C R, ISHIWU C N, OBIEGBUNA J E, et al. Sorghum grains: nutritional composition, functional properties and its food applications[J]. European Journal of Nutrition & Food Safety, 2020; 101-111.
- [3] MEDINA MARTINEZ O D, LOPES TOLEDO R C, VIEIRA QUEIROZ V A, et al. Mixed sorghum and quinoa flour improves protein quality and increases antioxidant capacity *in vivo*[J]. LWT, 2020, 129: 109597.
- [4] PRZYBYLSKA-BALCEREK A, FRANKOWSKI J, STUPER-SZABLEWSKA K. Bioactive compounds in sorghum[J]. European Food Research and Technology, 2019, 245(5): 1075-1080.
- [5] LIU C J, GONG X W, ZHAO G, et al. Liquor flavour is associated with the physicochemical property and microbial diversity of fermented grains in waxy and Non-waxy *Sorghum* (*Sorghum bicolor*) during fermentation[J]. Frontiers in Microbiology, 2021, 12: 618458.
- [6] XIONG Y, ZHANG P Z, WARNER R D, et al. Sorghum grain: from genotype, nutrition, and phenolic profile to its health benefits and food applications[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2019, 18(6): 2025-2046.
- [7] 赵小敏, 章洁琼, 胡朝凤, 等. 遵义 8 个酒用高粱品种的产量及酿酒品质[J]. 贵州农业科学, 2022, 50(5): 120-125.
- [8] PIAO X. 17 Alternative feedstuff for pigs in China: efficient utilization of sorghum as an alternative energy source fed to pigs[J]. Journal of Animal Science, 2018, 96(S3): 1-2.
- [9] 瞿云明. 5 种 C₄ 作物对菜田土壤次生盐渍化的改良作用[J]. 中国瓜菜, 2017, 30(9): 13-16.
- [10] 李顺国, 刘猛, 刘斐, 等. 中国高粱产业和种业发展现状与未来展望[J]. 中国农业科学, 2021, 54(3): 471-482.
- [11] 武良, 张卫峰, 陈新平, 等. 中国农田氮肥投入和生产效率[J]. 中国土壤与肥料, 2016(4): 76-83.
- [12] 郭明亮. 中国水稻氮过量对农药用量的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [13] 李丰, 高桐梅, 苏小雨, 等. 施氮量和种植密度对芝麻光合速率、产量和氮肥利用率的影响[J]. 作物杂志, 2022(2): 215-221.
- [14] 冯沁, 付薇, 韩永芬, 等. 不同氮肥水平对绿巨人甜高粱产量和品质的影响[J]. 农技服务, 2022, 39(1): 4-6.
- [15] 张锦文, 邓伟, 吕永刚, 等. 氮肥用量对云南高原硬稻产量及氮素吸收利用的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(34): 1-8.
- [16] 张婧婷. 多因子变化对中国主要作物产量和温室气体排放的影响研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2017.
- [17] 刘忱. 密云水库氮素分布特征及污染源解析研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021.
- [18] 董杰, 申泽良, 管勇, 等. 氮肥-垃圾渗滤液复合影响区非饱和-饱和带全剖面氮素分布特征及微生物响应[J]. 环境科学学报, 2021, 41(4): 1496-1510.
- [19] ZHANG W L, TIAN Z X, ZHANG N, et al. Nitrate pollution of groundwater in Northern China[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 1996, 59(3): 223-231.
- [20] 杨广东, 胡尊艳, 刘玲玲, 等. 高寒地区不同氮肥水平对高粱产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2015(6): 43-45.
- [21] 王桂霞, 杨义风. 当代中国农村耕地资源保护的实践探索与策略优化: 以黑土地保护为中心兼及其他[J]. 河北学刊, 2021, 41(6): 117-124.
- [22] 敖曼, 张旭东, 关义新. 东北黑土保护性耕作技术的研究与实践[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1203-1215.
- [23] 高丽敏, 田倩, 苏晶, 等. 施氮水平对甜高粱干物质产量及氮肥利用率的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(4): 192-198.
- [24] 张治刚, 张彪, 赵书民, 等. 中国白酒香型演变及发展趋势[J]. 中国酿造, 2018, 37(2): 15-18.
- [25] 苏金兰, 徐柏田, 林培. 中国白酒香型发展的进展研究[J]. 酿酒科技, 2017(8): 102-111.
- [26] 杨传天, 李成, 李恩鹏. 淀粉分子精细结构如何影响高粱的蒸煮与酿造性质[C]//中国食品科学技术学会第十八届年会摘要集, 2022: 336-337.
- [27] 牛姣, 沈毅, 张贵虎, 等. 白酒酿造原料与酒体品质关系的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(3): 322-328.
- [28] 罗高建, 倪书干, 易翔, 等. 不同粮食小曲原酒勾调设计研究[J]. 酿酒, 2022, 49(3): 76-79.
- [29] 钟敏, 张健. 原料糯高粱对酱香型白酒品质影响的研究现状[J]. 中国酿造, 2022, 41(1): 32-36.
- [30] FLEET G H. Yeast interactions and wine flavour[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 86(1/2): 11-22.
- [31] 季树太, 王佐民, 郭书刚. 酿酒高粱研究刍议[J]. 酿酒, 2019, 46(2): 28-30.
- [32] 焦少杰, 王黎明, 姜艳喜, 等. 高粱与固态白酒关系的研究综述[J]. 酿酒, 2015, 42(1): 13-16.
- [33] 刘聪. 山西老陈醋醋醅中微生物多样性分析及高粱单宁对真菌生长的影响[D]. 太原: 山西大学, 2019.
- [34] 杨玲, 王琪, 郭旭凯, 等. 高粱单宁含量对清香型大曲白酒酒醅中细菌种群的影响[J]. 中国酿造, 2020, 39(7): 83-88.
- [35] 郭旭凯, 杨玲, 刘聪, 等. 山西老陈醋酿造过程中乳酸菌和醋酸菌的分离鉴定及高粱单宁对其生长的影响[J]. 中国酿造, 2018, 37(8): 37-44.
- [36] 高杰, 封广才, 李晓荣, 等. 施氮量对酒用糯高粱品种红缨子产量及氮素吸收利用的影响[J]. 作物杂志, 2021(4): 118-122.
- [37] 张瑞栋, 曹雄, 岳忠孝, 等. 氮肥和密度对高粱产量及氮肥利用率的影响[J]. 作物杂志, 2018(5): 110-115.
- [38] 李春梅, 马云珍, 徐文修, 等. 不同施氮量对棉花产量和棉田土壤养分的影响[J]. 核农学报, 2022, 36(7): 1446-1455.
- [39] 殷熙悦, 殷文, 樊志龙, 等. 绿肥还田及减施氮肥对绿洲灌区小麦产量和土壤 CO₂、N₂O 排放的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2022, 57(1): 48-55.

- [40] 刘在民,刘汉兵,张梦瑶,等. 氮肥减施对苜蓿间作大白菜系统下大白菜根际土壤养分及生长的影响[J]. 北方园艺, 2021(23):21-29.
- [41] 钟华,郭旋,李鹏,等. 东北雨养玉米氮肥优化管理综合评价[J]. 植物营养与肥料学报, 2022, 28(2):357-365.
- [42] 成一雄. 调亏灌溉和施氮对春玉米根区土壤水分、硝态氮分布及产量的影响[J]. 水资源开发与管理, 2020, 18(11):14-20.
- [43] 刚爽,赵宏伟,王敬国,等. 不同氮肥水平下寒地粳稻器官不同形态氮含量变化特征研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):276-282.
- [44] 邹剑秋,王艳秋,柯福来. 高粱产业发展现状及前景展望[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2020, 40(3):2-8.

Effects of Nitrogen Fertilizer Application Rate on Grain Quality and Yield of Dwarf Brewed Sorghum

MA Zijun¹, JIAO Shaojie², WANG Liming¹, JIANG Yanxi¹, YAN Hongdong¹, SU Defeng¹, WU Zhenyang¹

(1. Crop Resources Institute, Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Harbin 150086, China; 2. Heilongjiang Academy of Agriculture Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: In order to find out the reasonable amount of nitrogen fertilizer for brewing sorghum in the early maturing area, Longza 22 and Longza 25 sorghum varieties were selected as experimental materials. In 2020 and 2021, six different nitrogen application rates including 0, 60, 120, 180, 240 and 300 kg·ha⁻¹ were used to study the effects of different nitrogen application treatments on crude starch content, 1000-grain weight, tannin content, grain yield and dry matter yield. The results showed that with the increase of nitrogen application rate, the thousand-grain weight of dwarf sorghum decreased first in 2020, then increased and then decreased, and then increased and then decreased in 2021. There was no significant difference in grain yield and dry matter yield among the treatments, and the starch content gradually decreased. The tannin content of two varieties in 2020 and Longza 22 in 2021 were lower than 1.40%. The N₂ treatment of Longza 25 in 2021 was 1.42% and closed to 1.40%, which was conducive to the improvement of wine yield and wine quality. The results of multivariate variance analysis of 1000-grain weight, grain yield, dry matter yield, starch content and tannin content showed that the difference between N₂ and N₃ treatments was not significant, and the difference between N₂ and N₄ was significant. From the perspective of environmental protection and emission reduction, N₂ treatment with lower nitrogen fertilizer input should be preferred. Nitrogen treatment had a significant effect on the accumulation of crude starch and dry matter, and a significant effect on yield and 1000-grain weight, but not on tannin content. The contents of N, P and K elements in the grain under N₂ treatment were higher, indicated that more nutrient elements were transferred from plants to the grain under this treatment, which provided a strong guarantee for the formation of yield. Overall, the fertilizer application amount of N₂ treatment (P₂O₅: 75 kg·ha⁻¹, K₂O: 30 kg·ha⁻¹, N: 120 kg·ha⁻¹) can achieve better grain yield and quality, and grain yield ranged from 557.87 kg·(667 m²)⁻¹ to 589.15 kg·(667 m²)⁻¹.

Keywords: sorghum; nitrogen fertilizer; yield; quality

著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据、博看网、长江文库、超星、龙源期刊网、中邮阅读网等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

黑龙江农业科学编辑部