

引用格式:

罗薇, 周迎鑫, 张雄, 吴思, 陶明德, 陈平平, 罗红兵, 周文新, 易镇邪. 栽培模式对洞庭湖区夏玉米产量形成与氮素利用的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2022, 48(2): 132–138.

LUO W, ZHOU Y X, ZHANG X, WU S, TAO M D, CHEN P P, LUO H B, ZHOU W X, YI Z X. Effects of the cultivation patterns on yield formation and nitrogen utilization of the summer maize in Dongting Lake area[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences), 2022, 48(2): 132–138.

投稿网址: <http://xb.hunau.edu.cn>



栽培模式对洞庭湖区夏玉米产量形成与氮素利用的影响

罗薇, 周迎鑫, 张雄, 吴思, 陶明德, 陈平平, 罗红兵, 周文新*, 易镇邪*

(湖南农业大学农学院, 湖南 长沙 410128)

摘要: 以宜机收玉米品种郑单 958(V1)、湘农玉 27 号(V2)为材料, 于 2019—2020 年在湖南桃源县开展大田试验, 在低、中、高 3 个密度(60 000、75 000、90 000 株/hm²)与低、中、高 3 个施氮水平(150、225、300 kg/hm²)条件下, 比较研究了高密高氮化控(T1)、高密中氮化控(T2)、高密低氮化控(T3)、中密高氮化控(T4)、中密中氮化控(T5)、中密低氮化控(T6)、低密高氮无化控模式即农民模式(CK) 7 种栽培模式对夏玉米产量形成和氮素利用的影响。研究表明: 栽培模式对夏玉米产量有显著影响; V1 品种 2 年间 T1、T2 模式的产量均较高, 两者差异不显著; V2 品种 2019 年 T2 模式的产量最高, 显著高于其他处理, 2020 年 T1 和 T2 的产量较高; 玉米群体叶面积指数、干物质积累量与氮素积累量随施氮量与种植密度增大而提高; 玉米氮素吸收效率与氮肥效率随施氮量增大而降低, 随种植密度增大而提高, 中氮条件有利于氮收获指数的提高。综合来看, 高密中氮化控模式(种植密度 90 000 株/hm²、施氮量 225 kg/hm²、拔节初期化学调控)能在保证大幅增产的同时, 获得较大的氮素吸收与利用效率, 可在洞庭湖区夏玉米生产上推广应用。

关键词: 夏玉米; 栽培模式; 产量构成; 氮素利用; 洞庭湖区

中图分类号: S513.04

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2022)02-0132-07

Effects of the cultivation patterns on yield formation and nitrogen utilization of the summer maize in Dongting Lake area

LUO Wei, ZHOU Yingxin, ZHANG Xiong, WU Si, TAO Mingde,

CHEN Pingping, LUO Hongbing, ZHOU Wenxin*, YI Zhenxie*

(College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

Abstract: In order to understand the high-yield and high-efficiency cultivation of summer maize in Dongting Lake area, effects of seven cultivation patterns (high density, high nitrogen and chemical control, T1; high density, medium nitrogen and chemical control, T2; high density, low nitrogen and chemical control, T3; medium density, high nitrogen and chemical control, T4; medium density, medium nitrogen and chemical control, T5; medium density, low nitrogen and chemical control, T6; low density, high nitrogen and no chemical control, CK) on yield formation and nitrogen utilization of summer maize were comparatively studied under three planting densities, 60 000, 75 000, and 90 000 plant/hm², and three nitrogen rates, 150, 225 and 300 kg/hm², with Zhengdan 958 (V1) and Xiangnongyu No.27 (V2), which are suitable for mechanical harvesting, in Taoyuan county, Hunan province in 2019-2020. The results showed

收稿日期: 2021-02-28

修回日期: 2022-03-12

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300308-01)

作者简介: 罗薇(1996—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事作物高产高效栽培理论与技术研究, 251300613@qq.com; *通信作者, 周文新, 博士, 教授, 主要从事作物高产高效栽培研究, zwxok@hunau.net; *通信作者, 易镇邪, 博士, 教授, 主要从事作物高产生理与资源高效利用研究, yizhenxie@126.com

that: there was significant difference in yield of summer maize under different cultivation patterns. As for V1 cultivars, yield of T1 and T2 was higher in two years, and there was no significant difference between T1 and T2. As for V2 cultivars, yield of T2 was highest in 2019, while yield of T1 and T2 was higher. Leaf area index, dry matter accumulation and nitrogen accumulation of maize increased with the increment of nitrogen rate and planting density. The nitrogen uptake efficiency and nitrogen fertilizer efficiency of maize decreased with the increment of nitrogen application rate, and increased with the increment of planting density. In conclusion, the high density, medium nitrogen and chemical control pattern could ensure a substantial increase in yield and also obtain higher nitrogen uptake and utilization efficiency, which could be applied in summer maize production in Dongting Lake area.

Keywords: summer maize; cultivation pattern; yield formation; nitrogen utilization; Dongting Lake area

玉米是中国主要的粮食作物与饲料作物之一，在农业生产中有着举足轻重的地位^[1]。随着耕地面积的不断下降以及国家供给侧结构性改革持续推进，玉米的种植面积将被调减。深入探索玉米高产高效栽培技术，提高玉米单产，是实现玉米可持续发展的重要途径和任务。

关于玉米高产高效栽培，前人已从种植密度、氮肥施用与化学调控等方面开展了大量研究。在有限耕地条件下，加大种植密度是提高玉米产量的关键措施之一^[1]。但随着种植密度的增加，玉米植株变高、茎秆变细、茎秆强度降低、植株倒伏与倒折率增加^[2-4]；因此，必须建立合理的群体结构才能获得群体高产^[5]。氮是影响作物产量与品质的重要养分因子，也是作物生长的必需元素。合理的氮肥施用不仅是作物维持正常生长发育及获得优质、高产的关键，还是减少环境污染与提高经济效益的有效途径。植物生长调节剂可通过调节玉米内源激素的平衡，以促进物质的合成、运输和代谢，达到降低玉米植株株高、穗位高和穗高系数^[6-7]，提高茎秆抗倒伏能力^[8]的目的。

作物生产是多因素综合作用的结果，前人就氮肥与种植密度互作对玉米形态、物质生产能力与产量^[9]以及根系性状^[10]等的效应开展了多项研究；李军虎等^[11]开展了品种、种植密度、化控剂 3 因素试验，发现种植密度是影响玉米产量的主要因素，不同类型玉米品种产量随种植密度的增加均呈先增后减的趋势。王红军等^[12]研究了不同种植密度条件下的适宜化控措施，认为郑单 958 在 8.25 万株/hm² 的种植密度下化控处理后的产量最高。

近年来，由于棉田改制的原因，湖南省洞庭湖区夏玉米种植面积逐渐扩大，但有关其高产高效栽培技术，尤其是机收条件下的栽培技术研究尚少。

为促进洞庭湖区夏玉米的机械化发展，朱春生等^[13]筛选了适宜洞庭湖区种植的夏玉米品种；前期有人开展了化学调控^[14]、种植密度与化学调控^[15]、施氮量和种植密度^[16]对洞庭湖区夏玉米产量与抗倒伏能力等的影响，但尚未开展组合栽培模式研究。为此，本试验结合前期研究结果，以 2 个宜机收玉米品种(郑单 958 与湘农玉 27 号)为材料，于 2019—2020 年在湖南省桃源县木塘垅镇开展了包含不同施氮量、种植密度与化学调控方式的栽培试验，研究了不同栽培模式对洞庭湖区夏玉米产量形成和氮素利用的影响，以期构建该区域夏玉米高产高效栽培技术体系提供依据。

1 试验区概况

于 2019 年 5 月—2020 年 10 月在湖南省常德市桃源县木塘垅镇(111°47'E、28°9'N)开展为期 2 年的定位试验。2019 年试验地 0~20 cm 土壤基本理化性状：pH 5.23，全氮、全磷和全钾含量分别为 0.62、0.58、8.36 g/kg，碱解氮、有效磷和有机质含量分别为 51.84、53.95、20.61 mg/kg；21~40 cm 土层土壤基本理化性状：pH 5.77，全氮、全磷和全钾含量分别为 0.44、0.39、8.24 g/kg，碱解氮、有效磷和有机质含量分别为 35.2、62.3、15.57 mg/kg。

2 材料与方法

2.1 材料

供试品种为郑单 958(V1)和湘农玉 27 号(V2，湖南农业大学选育的适宜机械收获的品种)。

2.2 试验设计

2 个品种分别进行双因素试验，设 7 种栽培模式：

高密高氮化控(T1)、高密中氮化控(T2)、高密低氮化控(T3)、中密高氮化控(T4)、中密中氮化控(T5)、中密低氮化控(T6), 低密高氮无化控模式(CK, 农民模式), 共 14 个处理(V1T1、V1T2、V1T3、V1T4、V1T5、V1T6、V1CK、V2T1、V2T2、V2T3、V2T4、V2T5、V2T6、V2CK)。3 次重复, 共 42 个小区。小区面积为 28.8 m²(等行距种植, 行距 60 cm, 8 行区, 长 6 m)。低、中、高密分别为 60 000、75 000、90 000 株/hm², 低、中、高氮分别为 150、225、300 kg/hm²。磷、钾肥用量均为 150 kg/hm²。氮肥为尿素(N \geq 46.4%), 磷肥为钙镁磷肥(P₂O₅ \geq 16.0%), 钾肥为硫酸钾(K₂O \geq 60.0%)。磷、钾肥均作基肥; 氮肥用于基肥与追肥(大喇叭口期追施), 施用比例为 7:3。拔节初期化控 1 次, 化学调控剂胺鲜·乙烯利为尉氏县农药总厂生产, 使用量为 375 g/hm²对水 450 kg。

试验前作为油菜。玉米播种期: 2019 年为 5 月 29 日, 2020 年为 5 月 24 日。其他田间管理措施同一般大田。

2.3 测定项目与方法

关键生育时期: 记录播种期、6 叶展、12 叶展、吐丝期和成熟期。

叶面积指数: 于 6 叶展、12 叶展、吐丝期、吐丝后 20 d、成熟期, 每个小区测定连续的 10 株玉米所有绿叶的长、宽, 以长宽系数法测定叶面积, 计算叶面积指数。

干物质积累: 于吐丝期、吐丝后 20 d 和成熟期, 每小区取代表性植株 3 株, 将叶、茎、穗(苞叶、籽粒、穗轴)等部位分开装袋, 105 °C 下杀青 30 min,

80 °C 烘至恒重后称重。

产量及产量构成因素: 于成熟期调查小区中间 2 行植株, 记录总株数、空秆株数、双穗株数、实收穗数和鲜质量等; 根据平均鲜穗质量取 10 穗考察穗行数、行粒数、千粒质量等, 计算理论产量; 测定籽粒总质量和含水量, 根据含水率 14%折算实际产量。

氮素吸收与利用效率: 采用凯氏定氮法测定植株各部位含氮量; 参考易镇邪等^[17]的方法计算氮素积累量、氮素吸收与利用指标。

2.4 数据处理

运用 Microsoft Excel 2016 进行数据处理; 采用 DPS 7.05 进行差异显著性检验。

3 结果与分析

3.1 栽培模式对夏玉米产量及产量构成的影响

2019 年, 2 个品种的产量差异明显(表 1), V1 的产量高于 V2; V1 以 T1 处理的产量最高, T6 的最低, 其中 T1 与 T2 处理较 CK 处理分别增产 21.78% 和 15.57%; V2 以 T2 处理的产量最高, T1 与 T2 较 CK 分别增产 3.26%、13.28%。各处理的经济系数间无显著差异, 其中 V1T1、V1T2、V1T3 与 V2T5、V2T2 的经济系数较高。V1、V2 各栽培模式的穗粒数分别为 359.1 ~ 508.4、239.3 ~ 355.7, 2 个品种均以 CK 处理的最高, 品种间表现 V1 高于 V2。V1、V2 各栽培模式的千粒质量分别为 201.5 ~ 233.2 g、279.3 ~ 304.9 g, 品种间表现 V2 高于 V1。

表 1 不同栽培模式下夏玉米的产量构成因素和产量

Table 1 Yield components and yield of summer maize under different cultivation patterns

年份	处理	穗行数	行粒数	穗粒数	千粒质量/g	每公顷有效穗数	产量/(kg·hm ⁻²)	经济系数
2019	V1T1	13.8	31.6ab	439.2b	223.0b	86 742.0a	8496.2a	0.47
	V1T2	13.6	29.7ab	400.2c	232.3b	86 854.3a	8063.3a	0.47
	V1T3	13.7	26.4b	359.1d	221.9b	88 000.0a	7008.5b	0.47
	V1T4	14.2	31.5ab	413.2c	230.3ab	73 255.8b	6966.3b	0.46
	V1T5	13.9	29.0ab	394.0c	232.3ab	74 081.9b	6778.6bc	0.46
	V1T6	13.9	28.3b	388.8c	201.5ab	74 553.6b	5839.0c	0.44
	V1CK	14.1	34.9a	508.4a	233.2a	58 826.2c	6976.9b	0.45
	V2T1	13.2	20.5b	264.7b	284.0b	86 827.6a	6532.6b	0.38
	V2T2	12.7	22.3ab	292.6ab	279.3b	87 592.9a	7166.3a	0.42
	V2T3	12.6	19.8b	239.3b	285.0b	88 186.1a	6014.5de	0.39
	V2T4	13.1	21.3ab	282.2b	294.2ab	72 576.5b	6033.7de	0.41
	V2T5	13.3	21.6ab	285.1b	289.8ab	74 468.1b	6151.6cd	0.44
	V2T6	13.6	20.8ab	279.0b	291.8ab	72 115.4b	5869.6e	0.40
	V2CK	13.6	25.5a	355.7a	304.9a	58 313.8c	6326.3bc	0.40

表 1(续)

年份	处理	穗行数	行粒数	穗粒数	千粒质量/g	每公顷有效穗数	产量/(kg·hm ⁻²)	经济系数
2020	V1T1	13.5a	27.1ab	364.8b	250.8ab	87 221.5a	7974.4a	0.53
	V1T2	13.9a	25.0ab	347.6bc	254.5ab	86 990.6a	7694.6ab	0.55
	V1T3	13.1a	23.1b	303.2c	248.7b	86 096.3a	6512.0c	0.51
	V1T4	13.4a	29.4a	391.9ab	257.7ab	71 573.6b	7225.3b	0.58
	V1T5	13.5a	25.3ab	343.7bc	252.0ab	73 054.9b	6334.1cd	0.57
	V1T6	13.6a	23.7b	324.4bc	263.7a	70 803.6b	6054.1d	0.56
	V1CK	14.1a	29.5a	417.1a	267.1a	60 690.1c	6760.2bc	0.57
	V2T1	12.5ab	21.2a	263.9b	343.0ab	83 167.0a	7169.3a	0.42
	V2T2	12.9ab	18.9b	244.3c	324.9ab	84 191.7a	7167.8a	0.46
	V2T3	12.2b	19.4b	237.4c	305.0b	83 048.8a	6019.7c	0.41
	V2T4	12.8ab	21.8a	281.4ab	333.7ab	71 625.1b	6343.0bc	0.42
	V2T5	12.6ab	20.4ab	258.5b	321.3ab	72 744.8b	6031.6c	0.43
	V2T6	12.8ab	21.5a	276.0ab	325.2ab	72 734.5b	6524.4b	0.47
	V2CK	13.5a	22.3a	301.0a	345.4a	58 753.4c	6098.2c	0.42

同一品种同一年份同列数据不同字母表示差异显著(P<0.05)。

2020 年, 2 个品种间整体产量相近(表 1), V1 整体产量较 2019 年稍有降低, V1T1 与 V1T2 处理的产量较高, 其次是 V1T4, 分别较 CK 增产 17.96%、13.82% 和 6.88%。2020 年 V2T1、V2T4、V2T6 产量较 2019 年有小幅上升, 以 T1 与 T2 处理的产量较高, 较 CK 分别增产 17.56% 和 17.54%, 显著高于其他处理。2 个品种的穗行数、行粒数与千粒质量以 CK 处理的最高, 2 年间表现一致。

综上可知, 洞庭湖区夏玉米 V1 采用 T1、T2 处理, V2 采用 T2 处理可获得高产。

3.2 栽培模式对夏玉米叶面积指数的影响

由表 2 可知, 2 年间各处理的叶面积指数(LAI)

随生育进程呈先增后降的趋势, 吐丝期达最大。2019 年, V1 与 V2 吐丝期 LAI 分别为 3.14~4.13、3.30~4.67; V1T1 的最高, 其次是 V1T4、V1T2, 三者分别较 V1CK 高 22.55%、12.46%、10.39%; V2T1、V2T2 与 V2T3 的 LAI 显著高于其他处理的, 分别较 V2CK 高 33.43%、12.57%、15.43%。2020 年 V1 与 V2 吐丝期 LAI 分别为 2.31~4.22、2.77~4.95; 2 个品种成熟期 T1、T2 与 T3 处理的 LAI 均显著大于其他处理的。可见, 增大种植密度可提高玉米的 LAI。比较 2 年夏玉米叶面积指数动态发现, 2 个品种的 LAI 随施氮量的增加及种植密度的增大而增大。

表 2 夏玉米各生育时期的叶面积指数

Table 2 Leaf area index of summer maize at different growth stages

年份	处理	叶面积指数					年份	处理	叶面积指数				
		6 叶展	12 叶展	吐丝期	吐丝后 20 d	成熟期			6 叶展	12 叶展	吐丝期	吐丝后 20 d	成熟期
2019	V1T1	0.67ab	1.97a	4.13a	2.88a	1.43a	2019	V2T1	0.74a	2.06a	4.67a	3.34a	1.45a
	V1T2	0.70a	1.71b	3.72ab	2.91a	1.38a		V2T2	0.71a	1.87ab	3.94b	2.62b	1.34a
	V1T3	0.66ab	1.64b	3.43bc	2.36b	1.34a		V2T3	0.66a	1.90a	4.04b	2.20c	1.30a
	V1T4	0.62ab	1.86ab	3.79ab	2.48b	1.01b		V2T4	0.60ab	1.85ab	3.56c	2.73b	0.96b
	V1T5	0.61b	1.54bc	3.29cd	2.09c	1.02b		V2T5	0.66a	1.66bc	3.48c	2.50b	0.89b
	V1T6	0.54b	1.50c	3.14d	2.02c	1.06b		V2T6	0.58ab	1.65bc	3.30c	2.74b	0.91b
	V1CK	0.50b	1.58bc	3.37bc	2.09c	0.98b		V2CK	0.46b	1.55c	3.50c	2.33c	0.71c
2020	V1T1	0.55ab	2.62a	4.22a	2.98a	2.12a	2020	V2T1	0.64ab	2.80a	4.95a	3.86a	3.01a
	V1T2	0.51ab	2.47ab	4.06ab	2.78ab	2.00ab		V2T2	0.51b	2.74a	4.81a	3.65a	2.78a
	V1T3	0.54ab	2.34b	3.83b	2.54b	1.93ab		V2T3	0.47b	2.11c	4.77a	3.31b	2.37b
	V1T4	0.62a	2.14bc	3.47c	2.33b	1.87b		V2T4	0.73a	2.57ab	4.17b	2.75c	2.30b
	V1T5	0.63a	2.21b	3.29c	1.92c	1.58c		V2T5	0.43b	2.26bc	3.58c	2.42cd	2.24b
	V1T6	0.53ab	1.95c	3.17c	1.86c	1.50c		V2T6	0.62ab	2.14bc	3.73c	2.41cd	2.22b
	V1CK	0.47b	2.26b	2.31d	1.91c	1.67c		V2CK	0.47b	2.12bc	2.77d	2.29d	1.84c

同一品种同一年份同列数据不同字母表示差异显著(P<0.05)。

3.3 栽培模式对夏玉米干物质积累的影响

从表3可以看出,2019年,各栽培模式下V1成熟期的干物质积累量为11 310.3~15 551.7 kg/hm²,其中,T1与T2较CK的分别高16.55%、9.83%;V2成熟期的干物质积累量为12 029.3~14 627.6 kg/hm²,T1与T2较CK的分别高7.98%和7.56%。2020年,V1成熟期的干物质积累量较2019年有所减少,V2则有所上升。各栽培模式下V1的干物质

表3 不同栽培模式下夏玉米成熟期干物质积累量

处理	V1的干物质积累量		V2的干物质积累量	
	2019年	2020年	2019年	2020年
T1	15 551.7a	15 021.6a	14 627.6a	17 145.4a
T2	14 655.9a	13 957.5ab	14 570.4a	15 485.0b
T3	12 920.6b	12 806.7bc	13 279.4bc	14 780.0bc
T4	13 008.0b	12 375.2c	12 762.8bc	15 081.3b
T5	12 638.5b	11 041.8d	12 029.3d	14 128.9bc
T6	11 310.3c	10 732.9d	12 690.0cd	13 978.2c
CK	13 343.6b	11 798.9cd	13 546.7ab	14 461.2bc

同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

积累量为10 732.9~15 021.6 kg/hm²,其中T1与T2较CK分别高27.31%和18.29%;V2成熟期的干物质积累量为13 978.2~17 145.4 kg/hm²,T1与T2较CK分别高18.56%和7.08%,T1显著高于T2。整体来看,2个品种表现略有差异,但均以T1的干物质积累量最高,T2次之。综合2年2个品种成熟期的干物质积累量可以看出,除个别处理外,夏玉米干物质积累量随施氮量的增大而提高,且高种植密度处理高于中种植密度处理。

3.4 栽培模式对夏玉米氮积累量的影响

由表4可知,随生育进程的推进玉米群体氮素积累量逐渐增大。2019年2个品种的氮积累量均以T1和T2处理的较高,V1T1、V1T2成熟期氮积累量较CK分别高21.10%和12.83%,V2T1、V2T2成熟期氮积累量较CK分别高10.27%和10.99%,而T5和T6处理的氮素积累量低于CK。2020年2个品种成熟期氮积累量也以T1的最高,且显著高于T2处理。综合2年的研究结果,总体上看,玉米氮素积累量随施氮量增大而提高,且高种植密度种植模式大于中种植密度种植模式。

表4 不同栽培处理下夏玉米的氮积累量

年份	处理	氮积累量					年份	处理	氮积累量				
		6叶展	12叶展	吐丝期	吐丝后20 d	成熟期			6叶展	12叶展	吐丝期	吐丝后20 d	成熟期
2019	V1T1	11.04b	94.45a	118.83a	150.41a	191.91a	2019	V2T1	13.90a	85.59a	133.02a	172.67a	184.15a
	V1T2	11.50b	82.99a	95.48b	125.11b	178.80ab		V2T2	11.03ab	76.78a	103.79b	123.64bc	185.35a
	V1T3	8.68c	68.85b	96.11b	114.20bc	159.38bc		V2T3	11.69ab	70.24ab	82.52cde	126.55b	152.98c
	V1T4	11.60b	63.04bcd	90.03b	102.95c	158.47bc		V2T4	10.30ab	55.01bc	87.86cd	113.17bcd	168.28bc
	V1T5	10.43bc	65.63bc	90.31b	104.86c	143.85cd		V2T5	12.59ab	44.17c	72.96e	108.42cd	156.91c
	V1T6	10.61b	51.31d	86.44b	101.38c	128.84d		V2T6	11.30ab	55.29bc	90.79c	99.07d	156.24c
	V1CK	14.57a	54.40cd	99.83b	126.47b	158.47bc		V2CK	5.47c	55.51c	82.95c	116.76bc	167.00bc
2020	V1T1	7.45ab	69.19a	85.60a	124.17a	180.57a	2020	V2T1	3.01d	44.09c	110.28a	180.35a	193.90a
	V1T2	7.10b	61.04bc	78.24bc	117.37ab	155.86b		V2T2	5.84a	56.44a	111.04a	127.14c	175.61b
	V1T3	7.65a	47.66bc	81.08ab	104.03bc	146.68b		V2T3	4.40bc	52.13ab	106.18ab	124.94c	165.60bc
	V1T4	6.00c	42.42cd	77.30c	97.94c	154.79b		V2T4	5.03b	45.36bc	108.43a	143.05b	177.79b
	V1T5	3.98d	59.74bc	82.67ab	96.42cd	122.85cd		V2T5	4.89b	54.09a	102.61b	129.76bc	160.56c
	V1T6	7.37ab	37.54d	85.23ab	87.47d	113.39d		V2T6	6.17a	35.04d	85.48c	119.30cd	160.74c
	V1CK	4.40d	63.61ab	80.65bc	113.34ab	130.32c		V2CK	3.98c	42.90cd	59.65d	109.62d	160.45c

同一品种同一年份同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

3.5 栽培模式对夏玉米氮素利用效率的影响

由表5可见,2019年2个品种的氮素利用效率均以T5处理的最高,且2个品种各处理均无显著性差异。V1氮素吸收效率以T3处理的最高,显著

高于其他处理;V2以T6的最高,T3的次之,2个处理间无显著性差异。V1的氮收获指数以T3的最高,其次是T2的,2个处理间无显著性差异;V2品种T2、T3、T5、T6处理氮收获指数间无显著性

差异。2 个品种的氮肥效率均以 T3 的最高，V2T6 仅次于 V2T3，显著高于其他处理。

2020 年，同一品种各处理的氮素利用效率也无显著性差别；氮素吸收效率均以 T3 处理的最高，V1T3 的显著大于其他处理的；V1 品种 T5、T4、T6、T2、T1 处理的氮收获指数间无显著性差异，V2 以 T2 处理的最高，T6 处理的次之。2 个品种的

氮肥效率与 2019 年的表现基本一致。

综合 2 年的结果，夏玉米氮素吸收效率与氮肥效率均随施氮量增大而下降，随种植密度增大而提高，中氮条件有利于氮收获指数的提高。2 年间 T2 处理的氮素利用效率、氮素吸收效率、氮收获指数及氮肥效率均优于 T1 处理。

表 5 不同栽培处理下夏玉米的氮素利用效率

年份	处理	氮素利用效率/(kg·kg ⁻¹)	氮素吸收效率/(kg·kg ⁻¹)	氮收获指数/%	氮肥效率/(kg·kg ⁻¹)	年份	处理	氮素利用效率/(kg·kg ⁻¹)	氮素吸收效率/(kg·kg ⁻¹)	氮收获指数/%	氮肥效率/(kg·kg ⁻¹)
2019	V1T1	39.3	0.64c	67.03b	25.27cd	2019	V2T1	31.3	0.61cd	54.52c	19.19d
	V1T2	39.8	0.80b	68.18ab	34.09b		V2T2	34.0	0.83b	64.69a	28.06b
	V1T3	38.9	1.06a	72.06a	44.76a		V2T3	34.6	1.02a	61.39ab	35.33a
	V1T4	38.8	0.53c	64.41b	22.36de		V2T4	31.6	0.56d	57.02bc	17.72d
	V1T5	41.6	0.64c	65.40b	26.66c		V2T5	34.6	0.70c	62.25ab	24.09c
	V1T6	40.2	0.86b	66.01b	36.42b		V2T6	33.2	1.04a	61.31ab	34.48a
	V1CK	38.8	0.53c	66.06b	20.40e		V2CK	33.3	0.56d	59.90bc	18.58d
2020	V1T1	45.2	0.60cd	68.73ab	26.58c	2020	V2T1	37.0	0.65cd	59.28bc	23.90cd
	V1T2	49.5	0.69bc	71.04ab	34.20b		V2T2	40.9	0.78b	66.75a	31.85b
	V1T3	45.8	0.98a	66.17bc	43.41a		V2T3	36.4	1.11a	59.47bc	40.13a
	V1T4	46.8	0.52cd	73.89ab	24.09c		V2T4	33.2	0.64d	55.04c	21.14d
	V1T5	51.6	0.55cd	75.34a	28.15bc		V2T5	37.6	0.71bc	57.79bc	26.81c
	V1T6	53.4	0.76b	72.89ab	40.36a		V2T6	40.7	1.07a	61.44ab	43.50a
	V1CK	52.5	0.43d	64.44c	22.53c		V2CK	38.1	0.54e	55.61bc	20.33d

同一品种同一年份同列数据不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

4 结论与讨论

叶面积指数是反映玉米群体光合能力的重要指标，生育后期叶面积指数越大、功能期较长，越有利于高产^[18]。本研究中，T1、T2、T3 处理在生育中、后期保持了较大的叶面积指数，2 个品种的叶面积指数随施氮量和种植密度的增加而增加，这与孙继等^[19]的研究结果基本一致。与 2019 年相比，2020 年玉米生育后期 LAI 下降幅度较小，可能与 2019 年玉米生育后期严重干旱、2020 年玉米生育后期雨水较多有关。

干物质积累是玉米籽粒产量形成的物质基础，吐丝前茎鞘储存的物质是玉米产量重要的物质来源^[20]，通过增加冠层营养器官干物质生产量并提高向籽粒的分配比例是获得高产的基本途径^[21]。本研究中，2 年间 T1、T2 处理能稳定提升 V1、V2 的干物质积累量，且 T1、T2 处理下 2 个品种的产量均较高。

玉米产量与种植密度、氮肥运筹和化学调控等因素有着密切的关系^[22]，提高种植密度是提高玉米单产最有效的途径^[23]。种植密度的增加保证了足够的收获穗数，是实现玉米高产的关键措施^[24]。本研究中，中、高密度处理的穗粒数和千粒质量虽均较 CK 明显降低，但由于种植密度的增加，各栽培模式的单位面积有效穗数高于 CK，从而保证了产量。综合 2 年结果来看，高密高氮化控模式与高密中氮化控模式有利于提高玉米产量，其中又以高密中氮模式年际间的稳定性最好。

王空军等^[25]认为玉米高产与高氮素利用效率的关系密切。王玲敏等^[26]研究认为，在低氮水平下，氮素利用效率和籽粒吸氮量对玉米产量起决定性作用；在高氮水平下，氮素利用效率起主要作用。本研究结果表明，在 T1(高密高氮化控)与 T2(高密中氮化控)模式下，V1、V2 品种在洞庭湖区均能获得高产，对比 T1 与 T2 模式的氮素利用效率、氮素吸收效率、氮收获指数以及氮肥效率，T2 的表现均

优于 T1。

综上所述,栽培模式对夏玉米产量影响显著,V1 品种 2 年均以 T1、T2 处理的产量较高,V2 品种 2019 年以 T2 处理的最高,2020 年以 T1 和 T2 的产量较高,表明 T2 处理更有利于洞庭湖区夏玉米的高产、稳产;且 T2 处理即高密中氮化控模式(种植密度 90 000 株/hm²、施氮量 225 kg/hm²、拔节初期化学调控)能在保证大幅增产的同时,获得较大的氮素吸收效率与氮素利用效率,可在洞庭湖区夏玉米生产上推广应用。

参考文献:

- [1] 杨世民,廖尔华,袁继超,等. 玉米密度与产量及产量构成因素关系的研究[J]. 四川农业大学学报, 2000, 18(4): 322-324.
- [2] 沈秀瑛,戴俊英,胡安畅,等. 玉米群体冠层特征与光截获及产量关系的研究[J]. 作物学报, 1993, 19(3): 246-252.
- [3] 杨国虎,李新,王承莲,等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 57-60.
- [4] 王庆祥,顾慰连,戴俊英. 玉米群体的自动调节与产量[J]. 作物学报, 1987, 13(4): 281-287.
- [5] 张倩,张洪生,宋希云,等. 种植方式和密度对夏玉米光合特征及产量的影响[J]. 生态学报, 2015, 35(4): 1235-1241.
- [6] 田再民,黄智鸿,赵海超,等. 玉黄金化控对不同种植密度下玉米抗倒伏性和产量构成因素的影响[J]. 河北农业科学, 2019, 23(5): 51-55.
- [7] 李彦昌,侯现军,张文波,等. 不同时期与种植密度化控对夏玉米的影响研究[J]. 中国农学通报, 2019, 35(19): 15-20.
- [8] 刘文彬,冯乃杰,张盼盼,等. 乙烯利和激动素对玉米茎秆抗倒伏和产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(9): 1326-1334.
- [9] 申丽霞,王璞,兰林旺,等. 氮密互作对夏玉米物质生产及氮素利用的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(1): 137-140.
- [10] 夏颖,李海娜,梁运江,等. 密度与氮肥互作对玉米生长及产量的影响[J]. 延边大学农学学报, 2019, 41(4): 43-51.
- [11] 李军虎,张翠绵,杜义英,等. 化控条件下密度对夏玉米产量及产量性状的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(3): 72-76.
- [12] 王红军,郭书亚,张艳,等. 不同密度条件下化控对夏玉米光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(17): 66-69.
- [13] 朱春生,易先辉,肖才升,等. 洞庭湖区宜机收夏玉米品种的筛选[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2018, 44(3): 229-233.
- [14] 沙莎,何闻静,曹亚娟,等. 化学调控对洞庭湖区不同群体夏玉米抗倒性及产量的影响[J]. 南方农业学报, 2019, 50(4): 726-735.
- [15] 何闻静,沙莎,曹亚娟,等. 密度与化学调控对洞庭湖区夏玉米产量形成的影响[J]. 作物研究, 2020, 34(3): 236-242.
- [16] 曹亚娟,韩霜,沙莎,等. 施氮量和种植密度对洞庭湖区夏玉米产量及氮素利用的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(2): 131-137.
- [17] 易镇邪,王璞,陈平平,等. 氮肥类型对夏玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(3): 472-478.
- [18] 毛庆文,吴桂丽,阎立波,等. 不同密度下玉米郑单 958 叶面积及干物质积累的研究[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(29): 16171-16172.
- [19] 孙继,顾万荣,魏湜,等. 黑龙江省寒地不同种植密度下高产春玉米冠层结构及光辐射特征[J]. 玉米科学, 2012, 20(6): 70-75.
- [20] 吕楠. 不同栽培模式对玉米产量形成与水氮利用效率的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.
- [21] 王丽梅,李世清,邵明安. 水、氮供应对玉米冠层营养器官干物质和氮素累积、分配的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(13): 2697-2705.
- [22] 李晶,李文龙,顾万荣,等. 不同栽培模式对春玉米茎秆特性、籽粒灌浆及产量的影响[J]. 东北农业大学学报, 2018, 49(8): 24-31.
- [23] 盛耀辉,王庆祥,齐华,等. 种植密度和氮肥水平对春玉米产量及氮素效率的影响[J]. 作物杂志, 2010(6): 58-61.
- [24] 马延华,孙德全,李绥艳,等. 施氮量和种植密度对玉米品种龙育 828 产量及氮利用特性的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2019(11): 33-38.
- [25] 王空军,张吉旺,郭玉秋,等. 我国北方玉米品种个体产量潜力与氮利用效率研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 879-884.
- [26] 王玲敏,叶优良,陈范骏,等. 施氮对不同品种玉米产量、氮效率的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(5): 529-535.

责任编辑:毛友纯

英文编辑:柳正