

全塑软带喷灌水肥一体化对夏玉米产量和养分吸收的影响

石学萍, 兰印超, 杨京, 张巧英, 郑成海, 檀海斌* (国家半干旱农业工程技术研究中心, 河北石家庄 050051)

摘要 [目的]探究全塑软带喷灌水肥一体化技术的应用效果,筛选夏玉米最佳施肥方案。[方法]设置常规施肥(CK)、全塑软带喷灌4个处理(T₁ 减肥50.00%, T₂ 减肥33.33%, T₃ 减肥16.67%, T₄ 与CK施肥量相同),处理总灌水量90 mm。研究5种不同处理对华北地区夏玉米养分吸收和产量以及N、P、K偏生产力等的影响。[结果]施肥量相同,增加施肥频次和N、K施肥时间后移可提高夏玉米干物质累积量, T₄处理比CK的夏玉米全株干物质量提升12.34%。分次追施,肥料减量后移,可显著提升水分利用效率和养分吸收, T₃处理施肥量比CK减少16.67%,水分利用效率为23.61 kg/mm,比CK高19.12%,提高夏玉米产量16.63%;N、P和K偏生产力比CK分别提高33.93%、16.63%和28.65%。[结论]全塑软带喷灌水肥一体化技术可提高夏玉米的产量、水分利用效率和肥料利用效率。

关键词 夏玉米;全塑软带喷灌;产量;养分吸收;偏生产力

中图分类号 S275 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)17-0179-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.17.045

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Fertigation on Maize Yield and Nutrient Uptake Through Sprinkler Irrigation System with all Plastic Tube

SHI Xue-ping, LAN Yin-chao, YANG Jing et al (The Semi-arid Agriculture Engineering and Technology Research Center of P. R. China, Shijiazhuang, Hebei 050051)

Abstract [Objective] To explore the application effect of water and fertilizer integration technology of spray irrigation with plastic belt, and screen the best fertilization scheme for summer maize. [Method] The conventional fertilization (CK) was applied, and sprinkler irrigation system with all plastic tube was applied to 4 treatments (T₁ weight loss 50.00%, T₂ weight loss 33.33%, T₃ weight loss 16.67%, T₄ and CK fertilizer amount was the same), and the total irrigation amount of each treatment was 90 mm. The effects of five different water and fertilizer treatments on nutrient absorption, final yield, partial productivity of nitrogen, phosphorus and potassium of summer maize in North China were analyzed. [Result] The results showed that the dry matter accumulation of summer maize was increased by increasing the frequency of fertilization and the time of N and K fertilization, and the yield was increased by 12.34% under T₄ treatment compared with CK. The water use efficiency (WUE) and nutrient uptake were significantly increased by applying fertilizer in different stages, the amount of fertilizer applied by T₃ treatment was 16.67% less than that of CK, and the water productivity was 23.61 kg/mm, 22.13% higher than that of CK. T₃ treatment can increase the yield of summer maize by 16.63%. The partial factor productivity of N, P and K increased by 33.93%, 16.63% and 28.65%, respectively. [Conclusion] The yield, water use efficiency and fertilizer use efficiency of summer maize can be improved by the integrated technology of irrigation water and fertilizer in sprinkler irrigation system with all plastic tube.

Key words Summer maize; Sprinkler irrigation system with all plastic tube; Yield; Nutrient absorption; Partial factor productivity

玉米是我国华北地区重要的粮食作物,产量约占全国玉米产量的20%^[1],对保证我国粮食安全具有不可替代的作用。但是该地区灌溉方式多为传统地面灌,施肥多采取种肥同播、一次性沟施的方式。粗放的生产方式造成灌溉用水量、水肥利用效率低等问题^[2-3]。因此,高效利用有限的水资源、提高肥料利用效率是当前夏玉米农业生产面临的重大任务^[4]。随着农业现代化进程的推进,粮食生产向规模化、集约化快速发展,喷灌、滴灌^[5]等水肥一体化灌溉方式逐渐得到广泛应用。水肥一体技术实现了少量多次追肥灌水,使土壤养分供应与作物吸收同步,是促进作物增产的重要手段,其减少了水肥损失,可以提高资源利用效率。华北平原夏玉米种植生产时间为处于雨热同期的6—9月,降雨量在400~720 mm,占全年降雨量的80%以上^[6]。而华北地区夏玉米生育期内需水量在304.3~636.1 mm,缺水在-370.1~283.7 mm,亏缺水量较小^[7],因此华北地区夏玉米生产效率主要限制因素为肥料施用。

冬小麦—夏玉米轮作是华北地区主要的种植制度,采用

微喷、滴灌等方式进行水肥一体化施用,在作物轮作耕种期需要收铺滴灌(微喷)带,而且植物秸秆高度、密度会阻碍微喷的均匀性^[8]。全塑软带喷灌系统的工作压力在0.2~0.3 MPa,喷射距离8 m,适用于各种地块形式,且操作简单方便、便于拆卸,喷带之间的间距大,不影响耕作。因此,笔者在对农民习惯施肥进行调查的基础上,通过减施氮、磷、钾肥,开展全塑软带喷灌水肥一体化下玉米养分高效利用田间试验研究,测定土壤养分、植株养分和作物产量及品质变化,比较分析不同养分梯度下的养分利用效率和肥料利用率,筛选夏玉米最佳施肥方案,探索华北地区夏玉米节肥稳产技术。

1 材料与方法

1.1 试验区概况 试验地为国家半干旱农业工程技术中心鹿泉综合试验基地(114°25'33"E, 37°55'44"N),海拔高度76 m左右,多年平均降水量536.40 mm,多年平均气温12.9℃。2020年全年降水量605.8 mm,6—9月玉米季降雨量518.5 mm。试验地土壤为壤土,容重1.42 g/cm³,耕层土壤有机质含量10.8 g/kg、全氮(N)含量0.82 g/kg、有效磷(P)含量3.81 mg/kg、速效钾(K)含量234.53 g/kg。

1.2 试验设计 共设5个处理,对照处理(CK)灌溉方式为漫灌,播种后灌水75 mm,大喇叭口期灌水52 mm;底肥采用种肥同播方式,施用复混肥(N-P-K含量:15%-15%-15%)150 kg/hm²和复合肥(N-P-K含量:31%-0-9%)

基金项目 河北省重点研发计划项目(19227004D;21327002D);河北省平原粮食规模化生产科技示范工程项目。

作者简介 石学萍(1979—),女,河北乐亭人,高级农艺师,硕士,从事作物节水技术及水肥资源高效利用研究。*通信作者,研究员,从事农业工程节水及水肥一体化技术研究。

收稿日期 2021-09-07

225 kg/hm²;在大喇叭口期期间追施尿素 90 kg/hm²(N 含量:46%)和复合肥(N-P-K 含量:31%-0-9%)435 kg/hm²;全生育期 N、P、K 施用量分别为 288.45、56.25、115.65 kg/hm²。T₁、T₂、T₃ 和 T₄ 处理采用全塑软带喷灌水肥一体化技术,播种后灌水 30 mm,拔节期、大喇叭口期、抽雄开花期和灌浆期各灌溉 15 mm;底肥施用复混肥(N-P-K 含量:15%-15%-15%),拔节期施用尿素(N 含量:46%),大喇叭口期、抽雄开花期和灌浆期施用复合肥(N-P-K 含量:31%-0-9%);全生育期施用量 T₁ 为 450 kg/hm²(N:149.25 kg/hm²,P:56.25 kg/hm²,K:83.25 kg/hm²),T₂ 为 600 kg/hm²(N:199.35 kg/hm²,P:

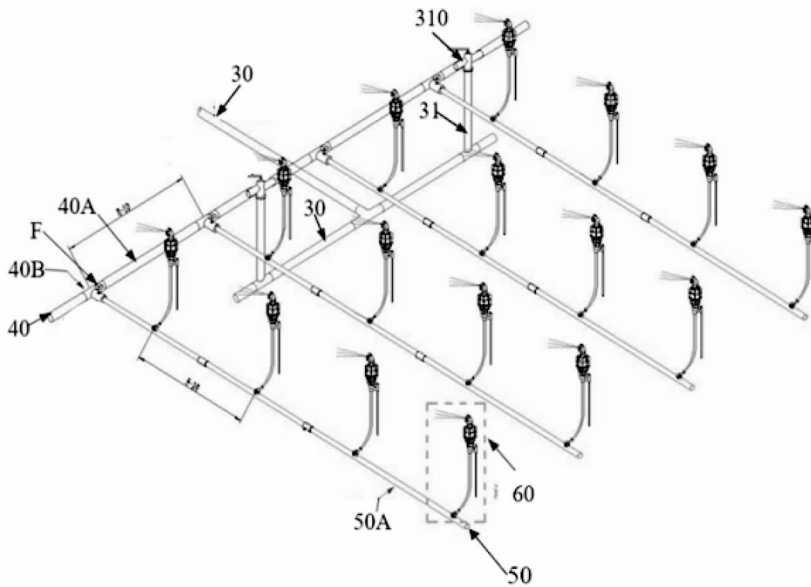
56.25 kg/hm²,K:94.05 kg/hm²),T₃ 为 750 kg/hm²(N:251.25 kg/hm²,P:56.25 kg/hm²,K:104.85 kg/hm²),T₄ 为 900 kg/hm²(N:288.45 kg/hm²,P:56.25 kg/hm²,K:115.65 kg/hm²),各生育期具体施肥量见表 1。地面全塑软带喷灌系统工作压力为 0.2~0.3 MPa,喷射距离 8 m;地面干管由若干管段连接而成,每根管段长为 8 m,布置示意图见图 1。试验为大区试验,每小区面积为 1 920 m²。夏玉米品种为科试 982,种植密度 60 000 株/hm²,其他管理措施与当地习惯保持一致。

表 1 夏玉米不同施肥量方案

Table 1 Different fertilization schemes of summer maize

kg/hm²

| 处理 Treatment | 施肥量 Fertilizer amount | | | | | 合计 Total |
|-----------------|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|-------------|
| | 底肥 Base fertilizer | 拔节期 Jointing | 大喇叭口期 Flaring | 抽雄开花期 Tasseling | 灌浆期 Filling | |
| CK | 375 | 0 | 525 | 0 | 0 | 900 |
| T ₁ | 150 | 0 | 150 | 75.0 | 75.0 | 450 |
| T ₂ | 150 | 30 | 225 | 97.5 | 97.5 | 600 |
| T ₃ | 150 | 60 | 300 | 120.0 | 120.0 | 750 |
| T ₄ | 150 | 90 | 375 | 142.5 | 142.5 | 900 |



注:30. 地理干管;31. 快接出水管;310. 上端的快接出水口;40. 地面干管;40A. 管段;40B. 快接三通;50. 地面干管;50A. 涂塑软带;60. 排水器

Note: 30. Buried main pipe; 31. Connect the outlet pipe quickly; 310. Quick connect water outlet at the upper end; 40. Ground main pipe; 40A. Pipe section; 40B. Quick connect tee; 50. Ground main pipe; 50A. Plastic coated soft belt; 60. Drain

图 1 全塑软带喷灌田间布置

Fig. 1 The general layout of all plastic sprinkler irrigation

1.3 测定项目与方法

1.3.1 气象参数。采用自动气象站对试验地气温、辐射、相对湿度、降水量、风速、风向等气象参数进行监测。

1.3.2 土壤含水率及耗水量。在播种前和收获后,采用取土烘干法,测量各处理的土壤含水率,取样深度 2 m,取样间隔 40 cm。使用水量平衡法计算各处理玉米全生育期耗水量,计算公式为

$$ET = (W_1 - W_2) + P + I + CP - D \quad (1)$$

式中,ET 为耗水量,mm;W₁ 为播种前土壤储水量,mm;W₂ 为

收获后土壤储水量,mm;P 为全生育期降水量,mm;I 为全生育期灌水量,mm;CP 为地下水补给量,mm;D 为深层渗漏量,mm。由于试验地区地下水埋深大于 15 m,同时单次灌溉或降水量较少,因此计算中忽略 CP 和 D。

1.3.3 植株生物量及氮、磷、钾吸收量。于玉米成熟期,每个小区连续选取 5 株有代表性的完整植株,分叶片、茎秆、穗轴和籽粒,105 ℃杀青 20 min,80 ℃烘干至恒重,称干重计算生物量。粉碎后采用凯氏定氮法测定全氮含量,采用钒钼黄比色法测定全磷含量,采用火焰光度计法测定全钾含量。

1.3.4 肥料偏生产力。

$$PFP = Y/F \quad (2)$$

式中,PFP 为肥料偏生产力,kg/kg;Y 为作物产量,kg/hm²;F 为化肥纯养分(N/P₂O₅/K₂O)的投入量,kg/hm²。

1.3.5 玉米产量测定。每个处理大区取 3 个区域(面积为 5 m×10 m)进行产量实测,测定区域内株数、空秆株数、穗数、总鲜重;在每个区域取 20 个果穗测定鲜重、干重、穗粒数、千粒重等考种指标。

1.4 数据处理 试验数据用 Microsoft Office Excel 2010 和 SPSS 17.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同水肥处理对夏玉米产量要素及水分利用效率的影响 从产量构成因素看,分次施肥各处理的穗粒数和千粒重随肥料用量的增加先增加后减少。由表 2 可知,CK 的平均穗数为 376.93 粒,T₁~T₄ 处理分别为 357.13、423.94、442.80 和 439.47 粒,其中 T₃ 处理比 CK 穗粒数增加 65.87 粒,但增加不显著,T₄ 处理比 CK 多 62.54 粒;各处理(T₁~T₄)千粒重、产量方面与穗粒数的变化趋势一致,T₄ 处理千粒重比 CK 重 10.37 g,T₃ 处理比 CK 重 12.37 g,T₂ 处理比 CK 重 4.58 g,各处理千粒重增加不显著。全塑软带喷灌水肥一体化条件下,T₂ 处理施肥总量比 CK 减少 33.33%,产量却高于 CK 11.04%;T₃ 处理施肥量比 CK 减少 16.67%,产量却高于 CK 16.63%,且产量增加显著;施肥量一定条件下,T₄ 处理比 CK 产量增加 1 056.90 kg/hm²,增产 12.34%;T₂~T₄ 处理间产量差异不显著。

以玉米全塑软带快接喷灌和漫灌条件下不同肥料用量试验为基础,测定自然降雨量、田间灌水量以及土壤含水量,计算出总耗水量,根据该试验各处理的产量计算夏玉米水肥生产率。由表 3 可知,T₁~T₄ 处理随施肥量的增加,夏玉米水分生产效率先提高再降低。T₁ 处理的水分利用效率为 19.26 kg/mm,T₃ 处理为 23.61 kg/mm。表明夏玉米在一定条件下增加施肥量可提高水分利用效率。与 CK 比,T₁ 处理

略低,其他处理的水分利用效率均高于 CK,T₂ 处理的水分利用效率为 22.53 kg/mm,比 CK 高 13.67%。

表 2 不同水肥处理夏玉米产量组成

Table 2 Yield of summer maize of different water and fertilizer treatments

| 处理 Treatment | 穗粒数 Grains per ear//粒 | 千粒重 1 000 grain weight//g | 产量 Grain yield kg/hm ² |
|-----------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| CK | 376.93 ab | 292.47 a | 8 563.05 a |
| T ₁ | 357.13 a | 287.97 a | 8 143.20 a |
| T ₂ | 423.94 ab | 297.05 a | 9 508.55 b |
| T ₃ | 442.80 b | 304.84 a | 9 986.85 b |
| T ₄ | 439.47 b | 302.84 a | 9 619.95 b |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments (P<0.05)

2.2 不同水肥处理对夏玉米各部位干物质及养分吸收的影响 由表 4 可知,各处理单株茎秆、叶片干物质与 CK 比较(除 T₁ 处理外),差异不显著;T₁~T₄ 处理随着施肥量增加,玉米茎秆、叶片干物质呈增大趋势,T₄ 处理茎秆干物质最高,达 60.31 g/株,叶片干物质质量 86.13 g/株,且 T₃、T₄ 处理干物质与 CK 处理接近。全塑软带喷灌各处理玉米籽粒干物质质量随着施肥量的增大呈先增加后减少的趋势,T₂~T₄ 处理间差异不显著,T₃、T₄ 处理籽粒干物质质量显著高于 CK,T₃ 处理最高,达 193.50 g/株,高于 CK 19.86%。T₁~T₄ 处理的穗轴干物质质量呈现先升高再降低趋势;T₁~T₃ 处理显著增加,T₃ 处理玉米穗轴干物质质量最高,达 21.35 g/株,T₄ 处理穗轴干物质质量减少,且与 T₃ 处理差异显著,T₂ 处理与 CK 比干物质含量减少,且二者间差异显著;CK 与 T₄ 玉米穗轴干物质重量接近。夏玉米全株干物质质量以 T₃ 处理最高,T₃、T₄ 处理间差异不显著。在相同施肥量,增加施肥次数能显著增加全株干物质质量,在施肥量氮肥减施 30.89%、钾肥减施 18.68%内增加施肥次数(T₄ 处理)全株干物质含量比 CK 高 9.32%。这表明分次施肥,氮、钾肥施肥后移可增加后期干物质积累量。

表 3 不同水肥处理夏玉米耗水和水分利用效率

Table 3 Water consumption and water use efficiency of summer maize of different water and fertilizer treatments

| 处理 Treatment | 灌水量 Irrigation amount//mm | 降雨量 Rainfall mm | 土壤贮水量 Soil water storage//mm | 渗漏量 Permeate quantity//mm | 耗水量 Water consumption//mm | 水分利用效率 WUE kg/mm |
|-----------------|------------------------------|--------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------|
| CK | 127.40 | 517.90 | 17.50 | 231 | 431.90 | 19.82 a |
| T ₁ | 90.00 | 517.90 | 16.02 | 201 | 422.90 | 19.26 a |
| T ₂ | 90.00 | 517.90 | 16.02 | 211 | 422.90 | 22.53 b |
| T ₃ | 90.00 | 517.90 | 16.02 | 201 | 422.97 | 23.61 b |
| T ₄ | 90.00 | 517.90 | 16.02 | 201 | 422.97 | 22.03 b |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P<0.05)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments (P<0.05)

从图 2 可见,夏玉米不同部位的养分含量不同,叶片中表现为 N>K>P,茎秆和穗轴为 K>N>P,籽粒为 N>K≈P。茎秆中 N 含量随着氮肥增加呈增大趋势,且 T₃、T₄ 处理显著高于 T₁、T₂、T₄ 处理最高,达 1.31%,T₂~T₄ 处理 N 吸收量均高于 CK;茎秆的 P 含量变化趋势不规律,T₄ 处理高于 CK。各处理茎秆 K 含量均高于 CK,T₄ 处理 K 吸收最高,达 2.86%。

T₁~T₄ 处理夏玉米叶片 N、P 含量呈增加趋势,且 T₂~T₄ 处理均高于 CK,各处理叶片 K 含量增加不显著(T₄ 处理除外),T₄ 处理叶片 K 含量最高。各处理穗轴 N、P、K 含量呈现先增加后减少的趋势,以 T₃ 处理含量最高,穗轴 N、P、K 含量分别达到 0.35%、0.03%、0.90%,籽粒含量分别为 1.52%、0.27%、0.33%,均显著高于 CK。由此可知,在相同施肥量的情况下,增加施肥

次数能显著提高作物养分吸收含量。

表 4 不同水肥处理夏玉米各部位的干物质量

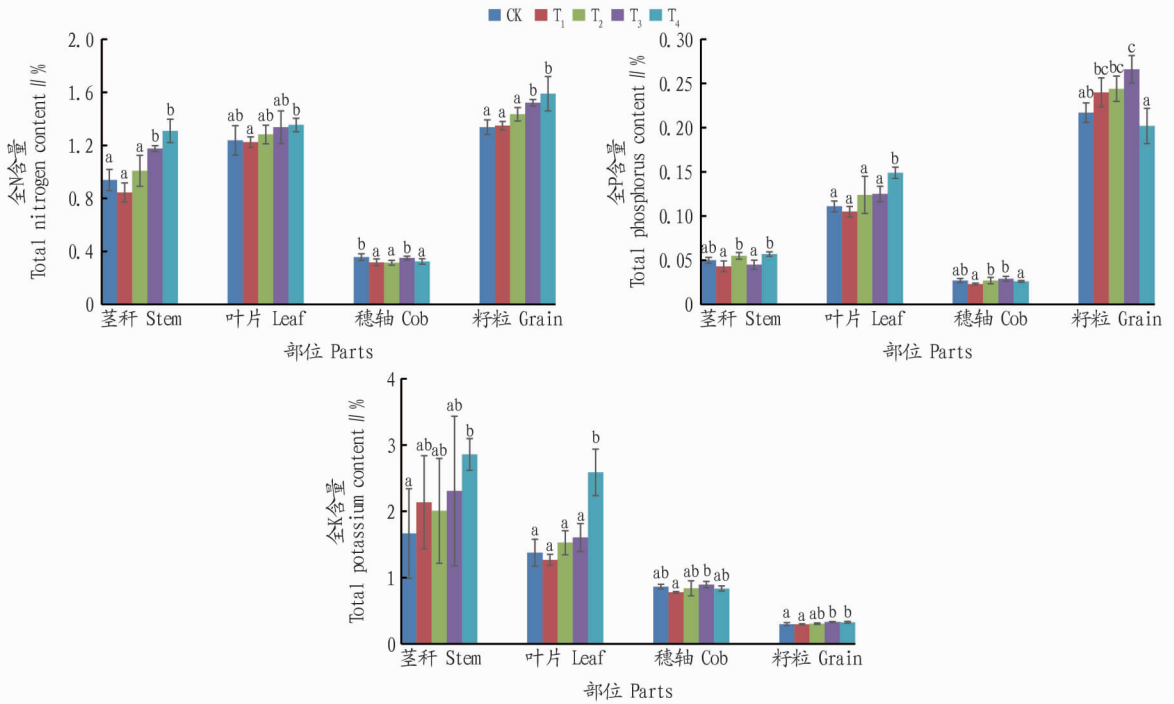
Table 4 Dry matter of different parts of summer maize of different water and fertilizer treatments

g/株

| 处理 Treatment | 茎秆 Stem | 叶片 Leaf | 籽粒 Grain | 穗轴 Cob | 全株 Whole-plant |
|-----------------|------------|------------|-------------|-----------|-------------------|
| CK | 57.75 b | 80.38 b | 161.44 ab | 19.43 c | 319.00 b |
| T ₁ | 39.40 a | 61.79 a | 140.19 a | 15.90 a | 257.28 a |
| T ₂ | 49.68 ab | 75.56 b | 172.10 bc | 18.59 b | 315.93 b |
| T ₃ | 52.41 ab | 81.79 b | 193.50 c | 21.35 c | 349.05 c |
| T ₄ | 60.31 b | 86.13 b | 183.10 c | 19.20 b | 348.74 c |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

Note: different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$)



注:不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters indicate significant differences between treatments ($P<0.05$)

图 2 不同水肥处理对夏玉米各部位养分吸收的影响

Fig. 2 Effects of different water and fertilizer treatments on nutrient absorption of summer maize

2.3 不同水肥处理对夏玉米 N、P、K 偏生产力和夏玉米籽粒品质的影响 由表 5 可知,随着各处理追肥量的增加,微喷夏玉米 N、K 的偏生产力逐渐下降,如 T₁ 处理的 N、K 偏生产率为 54.56、144.77 kg/kg,而 T₄ 处理分别为 33.32、83.18 kg/kg,表明随着用肥量的增加,玉米对 N、K 的利用率相对降低。P 肥在施肥初期发生大量的吸附固定,作为底肥

施入,5 个处理 P 肥量一致,随着 N、K 肥的增加,P(P₂O₅) 偏生产力呈先增大后减小趋势。T₂ 处理与 CK 比较,N 偏生产力比 CK 高 60.71%,P(P₂O₅) 偏生产力比 CK 高 11.04%,K(K₂O) 偏生产力比 CK 高 36.55%。T₃ 处理与 CK 比较,N 偏生产力比 CK 高 33.93%,P(P₂O₅) 偏生产力比 CK 高 16.63%,K(K₂O) 偏生产力比 CK 高 28.65%。

表 5 不同水肥处理 N、P、K 肥的总施入量及偏生产力

Table 5 Total input and partial productivity of N, P and K fertilizers of different water and fertilizer treatments

| 处理 Treatment | 总施肥量 Total amount of fertilizer/kg/hm ² | | | 偏生产力 Partial productivity/kg/kg | | |
|-----------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| | N | P(P ₂ O ₅) | K(K ₂ O) | N | P(P ₂ O ₅) | K(K ₂ O) |
| CK | 288.45 | 56.25 | 115.65 | 29.68 a | 152.23 ab | 74.04 a |
| T ₁ | 149.25 | 56.25 | 56.25 | 54.56 e | 144.77 a | 144.77 d |
| T ₂ | 199.35 | 56.25 | 94.05 | 47.70 d | 169.04 b | 101.10 c |
| T ₃ | 251.25 | 56.25 | 104.85 | 39.75 c | 177.54 c | 95.25 c |
| T ₄ | 288.45 | 56.25 | 115.65 | 33.32 b | 171.02 c | 83.18 b |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$)

从试验测定的 3 项玉米品质指标可以看出(表 6),以 T_3 处理施肥量品质最好,粗蛋白质高于 T_1 处理 5.04%,高于 CK 3.05%;粗脂肪高于 T_1 处理 12.69%,高于 CK 0.54%;粗淀粉以 T_4 处理最好,高于 T_1 处理 4.31%,高于 CK 0.38%; $T_1 \sim T_3$ 处理随着肥料的增加玉米品质明显提高,但 T_3 、 T_4 处理、CK 随着肥料增施不呈线性关系,甚至呈降低趋势。

表 6 不同水肥处理夏玉米籽粒品质

Table 6 Grain quality of summer maize of different water and fertilizer treatments

| 处理 Treatment | 粗蛋白质 Crude protein | 粗淀粉 Crude starch | 粗脂肪 Crude fat |
|-----------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| CK | 95.0 a | 739.9 a | 37.1 c |
| T_1 | 93.2 a | 712.0 a | 33.1 a |
| T_2 | 95.8 a | 738.8 a | 35.2 b |
| T_3 | 97.9 a | 740.9 a | 37.3 c |
| T_4 | 94.2 a | 742.7 a | 36.1 c |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P < 0.05$)

3 讨论

3.1 全塑软带喷灌水肥一体对夏玉米产量及干物质积累的影响 华北地区夏玉米种植常因生长期高温多雨,采用“一炮轰”的施肥方式,极易造成氮素的淋洗和损失,这种方式也易使氮肥以气态形式损失,降低氮肥利用率^[9],使夏玉米生长后期发生脱肥早衰的现象^[10-11]。该试验结果表明,通过全塑软带喷灌模式水肥一体化,分别在拔节、大喇叭口、抽雄开花期、灌浆分 4 次追肥,氮肥施用量 251.25 kg/hm²,干物质和产量最大。与漫灌施肥在大喇叭口施一次肥比较(T_2 处理),节约氮肥 30.89%,干物质总量变化不显著,产量增加 11.04%。魏廷邦等^[12-13] 研究表明,玉米全生育期植株氮素积累速度呈双峰曲线,第 1 峰出现在拔节期至大喇叭口期,第 2 峰出现在灌浆期至成熟期,玉米氮肥从拔节期后移延长至灌浆期有利于提高植株体内活性氧清除酶的代谢合成量,延缓植株衰老,增大全生育期玉米干物质最大增长速率及提前最大增长效率出现的天数。因此,根据玉米不同生育阶段的氮素吸收特征进行氮肥减量后移可节省氮肥,但并不影响植株氮积累量和积累速率^[14]。

研究表明,夏玉米生产施肥中重前期、轻后期的做法影响增产潜力。水肥一体化技术可以通过调整施肥时期及分次施用量,从而优化施肥制度,实现肥料后移。该技术可以在肥料总量不变的情况下,通过减少对作物生长前期的投入,将节省的肥料施于作物生长后期^[15],进而提高植株对供给养分的吸收利用,降低土壤残留,从而提高肥料利用率。李金鑫等^[16] 研究结果表明,适中的水肥一体化技术可以提高产量 2.80%,提高肥料利用率 28.55%,薛垠鑫等^[17] 利用滴灌对宁夏玉米施肥可以使氮肥利用率达到 51.21%,磷肥利用率达到 28.88%,钾肥利用率高达 65.75%。该试验结果表明,通过精确控制不同生育期的施肥量,直接将肥料输送到作物根部,保证了养分快速被根系吸收,全塑软带喷灌水肥

一体 N 肥减施 30.89%、K 肥减施 18.68%、N、K 肥偏生产力比 CK 分别高出 60.71%、36.55%,提高了肥料偏生产力。合理的肥料配合施用和水肥一体化技术可以促进作物吸收,有效提高肥料利用。该研究在施 N 量 251.25 kg/hm²、施 K 量 104.85 kg/hm²,夏玉米植株养分吸收、产量、品质达到最佳。李格等^[18] 研究表明,在华北地区中低产土壤滴灌施肥条件下,最适宜的 N、K 施用量分别为 180 和 90 kg/hm²,当施 N 量超过 180 kg/hm²、施 P 量超过 90 kg/hm² 时,夏玉米产量会出现下降。这与该研究的结论不完全一致,一是受到地力、地区、降水量、作物不同生育阶段需水需肥规律等因素的影响;二是未充分考虑 P 肥变化对夏玉养分吸收的影响。

3.2 全塑软带喷灌模式应用分析 该试验采用的全塑软带喷灌模式喷头立杆高度 1.2~1.5 m,小麦生育期及夏玉米苗期到大喇叭口期不受作物遮挡影响,能够满足灌水施肥需要。夏玉米生长后期受秸秆遮挡,对喷灌效果有一定影响,但由于该阶段处在雨热同期,亏缺水量较小,以灌溉施肥为主要农业措施的节水效应很难体现,利用全塑软带喷灌模式可满足玉米补充灌溉和施肥需要,提高肥料养分利用率、减少施肥劳动投入,该模式可以作为冬小麦—夏玉米一年两熟节水灌溉推荐技术。

4 结论

在河北山前平原冬小麦—夏玉米一年两作的地区,在全塑软带喷灌水肥一体化条件下,增加施肥频次和 N、K 施肥时间后移可提高增加夏玉米干物质累积量和产量。肥料减量分次追施可提升水分利用效率,促进玉米养分吸收和提升肥料利用率。P 肥底施 56.25 kg/hm² 时,N、K 施用量分别为 251.25 kg/hm² 和 104.85 kg/hm²,夏玉米植株养分吸收、产量、品质达到最佳,当施肥量继续增大时,夏玉米产量反而出现下降。该研究利用新型工程模式,将农民传统的施肥量、灌水量进行适度减量,为河北中南部平原夏玉米节水节肥稳产高效栽培技术提供了技术和理论依据。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 2017 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- [2] 王会肖, 刘昌明. 华北平原水资源供需与作物水分利用效率指征分析[J]. 生态农业研究, 1999, 7(3): 11-15.
- [3] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915-924.
- [4] 杜君, 杨占平, 魏义长, 等. 北方夏玉米滴灌施肥一体化技术应用效果[J]. 核农学报, 2020, 34(3): 621-628.
- [5] 白珊珊, 万书勤, 康跃虎, 等. 微喷带施肥灌溉对小麦玉米产量和水肥利用的影响[J]. 节水灌溉, 2019(3): 1-7.
- [6] 谭方颖, 王建林, 宋迎波. 华北平原近 45 年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [7] 曹大禹, 吴鑫淼, 鄧志红. 华北平原冬小麦—夏玉米作物亏缺水量空间分布研究[J]. 中国农村水利水电, 2020(4): 107-111, 115.
- [8] 崔吉晓, 檀海斌, 吴佳迪, 等. 微喷灌水肥一体化对河北夏玉米生长及产量的影响[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 105-110.
- [9] 高素玲, 刘松涛, 杨青华, 等. 氮肥减量后移对玉米冠层生理性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(24): 114-118.
- [10] MENG Q F, CHEN X P, ZHANG F S, et al. In-season root-zone nitrogen management strategies for improving nitrogen use efficiency in high-yielding maize production in China[J]. Pedosphere, 2012, 22(3): 294-303.
- [11] 张倩, 韩本高, 张博, 等. 控失尿素减施及不同配比对夏玉米产量及氮肥效率的影响[J]. 作物学报, 2022, 48(1): 180-192.

指数呈极显著正相关($P < 0.01$),与葡萄的可滴定酸含量呈极显著负相关($P < 0.01$)。湿度与葡萄果实的可溶性固形物含量、可滴定酸含量均呈极显著负相关($P < 0.01$)。

3 讨论

光是影响葡萄品质的重要环境因子。铺设反光地膜可以改善果园中下部的光照条件,有利于葡萄中下部叶片与果实表面的光合作用,从而提高葡萄的品质,促进葡萄加速转色^[13]。该试验中葡萄生长期铺设地膜可以提高地膜反光率,覆膜后期反光膜处理高于普通地膜处理,但是随着铺设时间的延长,反光率较铺设初期均降低,这可能是由于后期灰尘覆盖在反光膜上,降低了其反光率。研究表明,自然积灰 30 d 就会降低反光率 25.8%^[14]。尤其是后期,人工作业剪枝、喷药会对地膜清洁产生一定的影响,导致地膜的反光率降低。该试验在 7 月 10 日时铺设反光膜处理葡萄已有着色,比普通地膜和裸地着色时间提前了 5~10 d,直至 8 月 7 日各处理着色基本完成。郭秀珠等^[15]研究表明,大棚铺设反光膜促进了葡萄的转色和成熟,增加了紫色果率和红色果率,成熟前期可采摘的葡萄重量为对照的 2.1 倍,可以显著提高经济效益。这与该试验研究结果相一致。该试验中果实转色后铺设地膜降低了葡萄果实的硬度和可滴定酸含量,提高了葡萄的可溶性固形物含量和可溶性糖含量。刘林等^[16]的研究同样证实在设施葡萄树冠下铺设蓝色反光膜可以提高果实可溶性糖含量,并降低可滴定酸含量。铺设地膜增加了反光率和 5 cm 土壤温度,从而促进了葡萄的着色。铺设地膜又增加了土壤含水量,降低了空气相对湿度,调控树体的微环境,土壤水热状况的改变进而会对土壤的微生物发生作用,从而促进了果树生长发育,提高果实品质。

4 结论

(1) 铺设反光膜提高了地膜反光率,可以显著提高 5 cm 土壤温度并降低空气相对湿度。与裸地和普通地膜处理相

比,铺设反光膜处理葡萄着色时间提前 5~10 d,其中 T_3 处理效果最好。

(2) 铺设反光膜对葡萄品质有显著影响,具体表现为降低了葡萄果实的硬度、可滴定酸含量,提高了葡萄的可溶性固形物含量和可溶性糖含量,以 T_3 处理效果最好。综上所述,铺设反光膜可以改善葡萄的着色,提高葡萄的品质, T_3 处理的反光膜效果最优。

参考文献

- [1] 罗春香,马光跃,朱致,等.我国葡萄设施栽培研究现状与展望[J].山西农业科学,2001,29(4):53-57.
 - [2] 温源,温娅丽,许尔文,等.不同颜色果袋对红地球葡萄果实品质的影响[J].落叶果树,2014,46(4):8-10.
 - [3] 成果,吴代东,余欢,等.反光膜和摘叶对毛葡萄果实微气候及其果实品质的影响[J].西南农业学报,2020,33(12):2912-2920.
 - [4] 杨昌钰,张芮,蔺宝军,等.水分胁迫对鲜食葡萄果实品质影响的研究进展[J].农业工程,2020,10(1):86-91.
 - [5] 魁小花,杨宏娟,李敏,等.补光对设施葡萄生长发育及果实品质的影响[J].北方园艺,2021(8):57-63.
 - [6] 马宗桓.光照强度对葡萄果实品质及花青苷合成的调控机理研究[D].兰州:甘肃农业大学,2019.
 - [7] 谢计蒙,王海波,王孝娣,等.设施葡萄品种连年丰产能力与光合生理特性关系研究[J].果树学报,2012,29(5):843-851.
 - [8] 夏国海,杨洪强,黑铁岭,等.苹果树盘覆盖银灰色反光膜的微气候与生理效应[J].中国农业大学学报,1998,3(S3):102-106.
 - [9] 胡湘明.新型反光膜覆盖对桃果实糖酸品质形成及果皮着色的影响[D].金华:浙江师范大学,2012.
 - [10] 吴黎明,蒋迎春,王志静,等.地面覆盖反光膜对温州蜜柑果着色及品质的影响研究[J].中国南方果树,2009,38(6):39-41.
 - [11] 李强,王秀峰,初敏,等.新型棚膜对温室内光温环境及番茄生长发育的影响[J].山东农业科学,2010,42(3):41-45.
 - [12] 晁无疾,陆家云.脱落酸对葡萄上色和果实品质的影响[J].中外葡萄与葡萄酒,2008(5):29-30,34.
 - [13] 董灵江,吴韶辉,赖齐贤,等.不同反光膜对大棚巨峰葡萄果实品质的影响[J].浙江农业科学,2020,61(7):1282-1285.
 - [14] 师志鹏,龚俊,王伟志,等.积灰对塔式太阳能定日镜反射率的影响研究[J].热力发电,2019,48(6):134-137.
 - [15] 郭秀珠,宋洋,刘冬峰,等.反光膜在葡萄栽培上的应用效果[J].浙江农业科学,2020,61(5):934-936.
 - [16] 刘林,许雪峰,王忆,等.不同反光膜对设施葡萄果实糖分代谢与品质的影响[J].果树学报,2008,25(2):178-181.
-
- (上接第 183 页)
- [12] 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.
 - [13] 曹承富,汪芝寿,孔令聪.氮肥运筹对夏玉米产量及籽粒灌浆的影响[J].安徽农业科学,1993,21(3):236-240.
 - [14] 赵士诚,裴雪霞,何萍,等.氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):492-497.
-
- (上接第 186 页)
- [13] 赵健,陈云,王亚磊,等.便携式枸杞振动采收装置参数优化试验研究[J].农机化研究,2019,41(3):176-182.
 - [14] 赵健,吕秀婷,韩冰,等.小籽粒精密播种机参数优化试验研究[J].农机化研究,2019,41(5):168-173,191.
 - [15] 刘彩彩,张孟妮,武雪萍,等.微喷水肥一体化氮肥后移对夏玉米氮素吸收及籽粒产量品质的影响[J].中国土壤与肥料,2019(6):108-113.
 - [16] 李金鑫,余鹏,李明珠,等.滴灌下水肥耦合对夏玉米产量及肥料利用率的影响[J].山东化工,2017,46(11):53-54,62.
 - [17] 薛根鑫,刘根红,王晓钰.滴灌条件下氮磷钾肥配施对玉米株高、光合速率及产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2020,55(6):77-85,96.
 - [18] 李格,白由路,杨俐苹,等.华北地区夏玉米滴灌施肥的肥料效应[J].中国农业科学,2019,52(11):1930-1941.
 - [15] 陈军,赵健,陈云,等.振刷式枸杞采收机设计与试验优化[J].农业机械学报,2019,50(1):152-161,95.
 - [16] 赵健,单立明,张欣,等.大蒜收获机参数优化试验研究[J].农机化研究,2021,43(2):169-173.