

王雨情, 裴建峰, 王溶溶, 等. 水氮互作对红花籽粒和花中干物质和氮分配的影响[J]. 江苏农业科学, 2024, 52(5): 178–186.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.027

水氮互作对红花籽粒和花中干物质和氮分配的影响

王雨情, 裴建峰, 王溶溶, 刘 旸, 魏俊杰, 杨 雪, 洪利亚, 李 娟, 李连珍

(河南农业大学农学院, 河南郑州 450046)

摘要:为探究水氮互作对红花盛花期一成熟期果球干物质质量、氮素分配及产量的影响,明确水氮互作下籽粒发育过程中红花的物质分配情况,为红花合理施用水分及氮素提供试验依据,采用旱作棚盆栽种植方式,设置水分、氮素 2 个水平,水分设置为 H1 (35% ~ 40%)、H2 (50% ~ 55%)、H3 (65% ~ 70%) 3 个水平,氮素设置为 N0 (0 kg/hm²)、N1 (240 kg/hm²)、N2 (360 kg/hm²)、N3 (480 kg/hm²) 4 个水平,共 12 个处理。结果表明,随着红花的生长发育,籽粒的干物质质量逐渐增加,氮素分配也逐渐提高,花则表现为先增加后降低,并在第 6 d 时达到最大。在 3 ~ 6 d 时,红花果球中的干物质及氮素向籽粒和花中分配,两者占比相近;在 9 ~ 15 d 时,花的积累降低,转变为由苞叶和花向籽粒积累,籽粒中的物质含量增加。不同水氮处理对红花干物质质量、氮素积累量及产量的影响差异显著 ($P < 0.05$),随着水分的增加,红花的干物质质量、氮素积累量及产量逐渐增加;在氮素含量增加时则表现为先增加后降低,并在 N1 时达到最高。在田间持水量为 65% ~ 70%,施氮量为 240 kg/hm² (H3N1) 处理下红花干物质质量、氮素积累量、产量最高,籽粒和花的产量较 H1N0 处理分别增加了 17.19、6.65 倍。综合红花的干物质质量、氮素积累量及产量等参数,本研究中最适宜的水氮处理为 H3N1,在红花种植过程中可以通过调节水氮比例改善红花的物质分配,进而提高红花的产量和品质。

关键词:水氮互作;红花;物质分配;干物质;氮素;产量

中图分类号:S567.21+9.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0178-08

红花 (*Carthamus tinctorius* L.) 是菊科红花属植物,其栽培和药用的历史可以追溯到汉代^[1],我国红花的主要产区包括新疆、四川、云南、河南、河北、山东等地^[2]。河南卫红花以其质量上乘、色泽鲜艳、质感柔软、握持稳固、香气扑鼻的特征,成为道地中药材^[3]。红花花中富含黄色素和黄酮类物质,有活血通经、化痰止痛之功效^[4],红花黄色素是一种稀有的天然色素,含量可达红花总质量的 2.89%,价格昂贵,在化妆品、食用保健、化工领域等具有广阔的开发前景^[5]。红花籽亦可以入药,红花籽油具有活血祛瘀、通经止痛的功效,有很高的药用及营养价值^[6]。高亚油酸红花品种中,亚油酸含量可达 73% ~ 85%,因此被称为“亚油酸之王”^[7],

同时还富含维生素及人体必需的氨基酸,其饼粕含有丰富的蛋白质,是非常优良的微生物饲料^[8-9]。

实现农业资源的可持续发展过程中,提升作物产量及其相关的水氮利用效率至关重要,而改善土壤水分及氮素营养状况则可以促进这一过程,两者之间存在着密切的关联^[10]。红花的生长环境对其产量和品质具有明显影响,特别是红花籽粒产量受环境影响较大,具有较低的遗传率^[11]。水分和氮素能显著影响红花的生长发育,适量的水氮耦合,能够提高其生理代谢能力,促进红花生长发育,进而改善红花的品质、提高产量^[12-13]。目前,我国红花栽培管理技术落后,生产经营方式粗放,标准化种植技术缺乏^[14],随着近几年中药材产业的发展,红花的种植面积日益扩大,给农民带来巨大收益的同时也暴露了诸多问题,尤其是在合理灌水、平衡施肥等方面缺乏成熟、规范的技术,造成肥料的过度施用和水资源的浪费等,导致综合效益不高。本试验通过控制水分和氮素 2 个因子,探讨水氮互作对红花盛花期一成熟期物质分配的影响,以期通过调节水氮配比,提高红花的产量及综合利用率,为构建河南卫红花水肥一体化高产栽培技术提供试验依据。

收稿日期:2023-06-30

基金项目:河南省高等学校青年骨干教师培养计划(编号:2019GGJS045);2023 年河南省中药材产业科技特派员服务团项目。

作者简介:王雨情(1999—),女,河南平顶山人,硕士研究生,主要从事中药材栽培与资源开发利用研究。E-mail:15837567595@163.com。

通信作者:李连珍,博士,教授,主要从事中药材栽培与资源开发利用研究。E-mail:lilianzhen@henau.edu.cn。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验红花品种为卫红花,经河南农业大学李连珍教授鉴定为菊科植物红花(*Carthamus tinctorius* L.),样品保存于河南农业大学中药学实验室。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2021 年 12 月至 2022 年 7 月在郑州市河南农业大学认知园试验田(34°48′33.308″N, 113°49′36.174″E)大棚内完成。采用随机区组设计,设置灌水量和施氮量 2 个因素。灌水量设置 3 个水平,土壤相对含水量分别为 35% ~ 40%、50% ~ 55%、65% ~ 70%,以 H1、H2、H3 表示,施氮量设置 4 个水平,分别为 0、240、360、480 kg/hm²,以 N0、N1、N2、N3 表示,详见表 1。磷、钾肥施用量均为 120 kg/hm²,在出苗后每盆一次性施入 P₂O₅ (1.23 g/株)、K₂O (0.65 g/株)和 K₂SO₄ (1 g/株);在红花出苗后和伸长期按比例 1 : 1 施入氮肥;设置 12 个处理,每个处理重复 15 次,每次 3 个平行试验,共计 540 盆。

表 1 水氮互作试验处理设计

处理	土壤相对含水量 (%)	施氮量 (kg/hm ²)
H1N0	35 ~ 40	0
H1N1	35 ~ 40	240
H1N2	35 ~ 40	360
H1N3	35 ~ 40	480
H2N0	50 ~ 55	0
H2N1	50 ~ 55	240
H2N2	50 ~ 55	360
H2N3	50 ~ 55	480
H3N0	65 ~ 70	0
H3N1	65 ~ 70	240
H3N2	65 ~ 70	360
H3N3	65 ~ 70	480

1.3 测定指标

1.3.1 籽粒发育期红花干物质质量测定 在红花盛花期和成熟期,随机抽取 5 株长势一致的植株作为样本,并将其分为营养器官和生殖器官,以测定其鲜重;在籽粒发育期,从 3、6、9、12、15 d 中随机抽取 8 个长势一致的红花果球,剥开后测定籽粒、花和苞叶的鲜重,并将其在 105 ℃ 的条件下杀青 1 h,在 80 ℃ 温度下烘干至恒重,最后测定干重并记录。

1.3.2 籽粒发育期红花氮素含量测定 采用凯氏

定氮法测定。称取磨细烘干样品(过 0.25 mm 筛) 0.200 0 g,置于消煮管中,加入适量催化剂,再加入 5 mL 硫酸,盖上漏斗后放置于消煮炉上 420 ℃ 消煮 1 h,做空白试验校正试验方法和试剂的误差,待室温冷却后,放置于凯氏定氮仪中蒸馏 5 min,测定样品中的氮素含量并记录。

1.3.3 不同处理下红花产量测定 花的产量:从盛花期开始,随机抽取 10 株长势一致的植株作为样本,在红花由黄变红时采摘管状花,用万分之一电子天平测定鲜重后于 55 ℃ 烘干至恒重,测定干重,每个处理进行 3 次重复。籽粒产量:待红花成熟后,随机抽取 10 株长势一致的植株作为样本,用万分之一电子天平测定 10 株红花籽粒的总重,每个处理进行 3 次重复。

1.4 数据处理及分析

数据处理采用 Microsoft Excel 2019,统计分析采用 SPSS 21.0 软件。

2 结果与分析

2.1 水氮互作对红花籽粒发育期干物质分配的影响

2.1.1 水氮互作对红花营养器官与生殖器官干物质质量的影响 由表 2 可知,水分、施氮极显著影响了盛花期和成熟期红花营养器官、生殖器官的干物质质量及两者的比值,水氮互作对盛花期红花营养器官与生殖器官的干物质质量影响显著或极显著,但对成熟期营养器官、生殖器官干物质质量的影响均不显著。从盛花期到成熟期,H1N0 处理下红花的营养器官干物质质量增加,其他处理下红花的营养器官干物质质量均有所降低;随红花生长发育时间的推移,在 H1 处理下,红花生殖器官干物质质量有所降低,H2、H3 处理下则表现为增加。相同氮素处理下,随着土壤相对含水量的增加,红花的营养器官和生殖器官干物质质量逐渐增大,表现为 H1 < H2 < H3,且 H1、H2、H3 处理之间差异显著。

相同土壤相对含水量处理下,随氮素含量的增加,红花营养器官、生殖器官的干物质质量均表现为先增大后减小的趋势。在 H1、H3 处理下,均表现为 N0 < N3 < N2 < N1,营养器官干物质质量在 H1 处理下,表现为各氮素水平之间差异不显著,在 H3 处理下,盛花期表现为 N1、N2、N3 之间差异不显著,但三者与 N0 之间差异显著,成熟期表现为 N1 与 N0 之间差异显著;生殖器官干物质质量在 H1 处理下表现

为 N0、N1 之间差异显著,在 H3 处理下表现为 N0、N1、N3 之间差异显著。在 H2 处理下,盛花期营养器官的干物质量表现为 N0 < N1 < N3 < N2,且营养器官干物质量在各氮素水平下差异不显著;生殖器官干物质量则表现为 N0 < N3 < N1 < N2,N1、N2 之间差异不显著,但与 N0、N3 之间存在显著性差异;成熟期营养器官干物质量表现为 N0 < N3 < N1 < N2,生殖器官干物质量则表现为 N0 < N3 < N2 < N1,均表现为施氮水平之间差异不显著,但与不施氮处理之间存在显著性差异。在成熟期时,各水分处理下红花生殖器官的干物质量施氮处理比不施氮处理提高 0.16 ~ 2.79 倍。

相同氮素处理下,成熟期生殖器官干物质量与营养器官干物质量的比值表现为 H1 < H2 < H3,施氮量为 240 kg/hm² (N1) 时,H3 处理下,生殖器官干物质量/营养器官干物质量较 H1、H2 分别增加 15.28% 和 5.06%,表明随灌水量的增加,红花干物质在生殖器官的分配率也逐渐增加。相同水分处理下,其比值表现为 N0 < N3 < N2 < N1,表明在 N1 处理下,红花各器官发育较均衡,能有效调控红花干物质分配比例,增加红花干物质积累,提高红花植株中生殖器官干物质分配比例,为红花的高产奠定基础。

表 2 不同时期红花营养器官与生殖器官干物质量的变化

处理	盛花期			成熟期		
	营养器官干物质量 (g/株)	生殖器官干物质量 (g/株)	生殖器官/营养器官	营养器官干物质量 (g/株)	生殖器官干物质量 (g/株)	生殖器官/营养器官
H1N0	5.60 ± 0.47c	2.01 ± 0.17e	0.36 ± 0.02gh	5.84 ± 0.21e	1.75 ± 0.23h	0.30 ± 0.03d
H1N1	11.32 ± 0.74c	7.00 ± 0.49cd	0.62 ± 0.02bc	9.34 ± 1.35de	6.64 ± 0.21ef	0.72 ± 0.13abc
H1N2	10.23 ± 0.54c	5.08 ± 0.70cde	0.50 ± 0.04def	7.23 ± 1.40e	5.09 ± 0.50fg	0.71 ± 0.07abc
H1N3	8.07 ± 1.17c	4.56 ± 0.75de	0.57 ± 0.05de	6.00 ± 0.67e	3.90 ± 0.74gh	0.66 ± 0.13c
H2N0	16.73 ± 0.97b	6.12 ± 1.04ed	0.37 ± 0.04gh	12.32 ± 2.94d	7.87 ± 0.86e	0.65 ± 0.08c
H2N1	18.43 ± 4.33b	13.09 ± 2.23b	0.72 ± 0.06a	17.41 ± 1.43c	13.80 ± 1.63d	0.79 ± 0.06abc
H2N2	20.07 ± 3.10b	13.79 ± 3.51b	0.68 ± 0.08ab	17.63 ± 1.30c	13.32 ± 1.09d	0.76 ± 0.04abc
H2N3	19.99 ± 3.44b	8.39 ± 0.61c	0.43 ± 0.04fg	16.52 ± 2.18c	12.46 ± 2.13d	0.75 ± 0.04abc
H3N0	21.68 ± 3.49b	7.28 ± 2.78ed	0.33 ± 0.07h	26.32 ± 1.92b	17.83 ± 2.50c	0.68 ± 0.05bc
H3N1	38.70 ± 4.95a	20.02 ± 2.60a	0.52 ± 0.05de	31.98 ± 3.73a	26.50 ± 1.38a	0.83 ± 0.07a
H3N2	37.70 ± 6.10a	16.15 ± 2.50b	0.43 ± 0.02fg	29.59 ± 3.06ab	24.11 ± 1.60a	0.82 ± 0.10ab
H3N3	34.95 ± 0.97a	15.61 ± 2.23b	0.45 ± 0.05efg	29.09 ± 1.21ab	20.73 ± 2.43b	0.71 ± 0.06abc

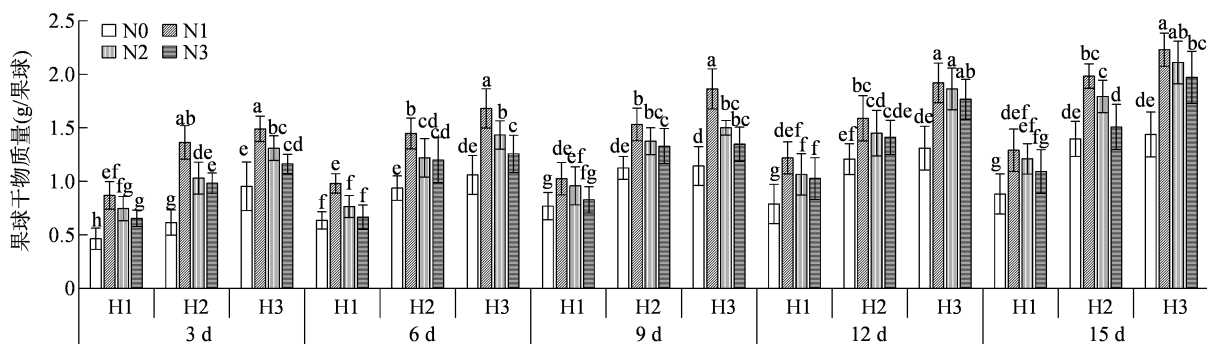
处理	盛花期 F 值			成熟期 F 值		
	营养器官	生殖器官	生殖器官/营养器官	营养器官	生殖器官	生殖器官/营养器官
H	183.996 **	80.781 **	17.667 **	363.837 **	439.139 **	14.753 **
N	13.421 **	29.958 **	47.395 **	8.760 **	31.761 **	16.975 **
H × N	4.082 **	3.410 *	7.832 **	NS	NS	3.419 *

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),*、** 分别表示影响显著($P < 0.05$)、极显著($P < 0.01$)。表 3 同。NS 表示影响不显著。

2.1.2 水氮互作对果球干物质含量的影响 由图 1 可知,随红花生长发育时间的推移,红花果球的干物质量逐渐增加,在 3 ~ 9 d 时,红花果球的干物质量快速积累,在 12 ~ 15 d 时积累较为缓慢。相同氮素处理下,随土壤相对含水量的增加,红花果球干物质量逐渐增大,表现为 H1 < H2 < H3。相同水分处理下,随施氮量的增加,红花果球的干物质量先增加后降低,表现为 N1 处理最高,N2、N3 次之,N0 处理显著低于 N1 处理;在 H1、H2 处理下,N0、N1 之间差异显著,N2、N3 之间差异不显著。在 H3 处

理下,N0、N1、N3 之间差异显著,在 6 d 时,N2、N3 之间差异显著,在其他时间 N2、N3 差异不显著。在 15 d 时,在 H3N1 处理下红花最高果球干物质量比 H1N0 处理下红花最低果球干物质量增加了 153.41%。

2.1.3 水氮互作对籽粒干物质量的影响 由图 2 可知,随红花生长发育时间的推移,红花籽粒的干物质量逐渐增加,在 3 ~ 6 d 时,红花籽粒的干物质量积累较慢,在 9 ~ 15 d 时则快速积累,籽粒干重也迅速增加。相同氮素处理下,随土壤相对含水量



柱上不同小写字母表示同一时间不同处理间差异显著($P < 0.05$)。图 2、图 3、图 5、图 6 同

图 1 不同时期红花果球干物质质量的变化

的增加,红花籽粒干物质质量逐渐增大,表现为 $H1 < H2 < H3$,且 $H1$ 、 $H2$ 、 $H3$ 处理间差异显著。相同水分处理下,随施氮量的增加,红花籽粒干物质质量先增加后降低,表现为 $N0 < N3 < N2 < N1$ 。在 $H1$ 处理下,3 ~ 12 d 时, $N1$ 、 $N2$ 、 $N3$ 之间差异不显著,但三者与 $N0$ 之间差异显著;15 d 时, $N1$ 与 $N0$ 、 $N2$ 、 $N3$ 之间差异显著,且 $N2$ 、 $N3$ 之间差异不显著。在 $H2$

处理下,3 ~ 12 d 时, $N2$ 、 $N3$ 之间差异不显著,但分别与 $N0$ 、 $N1$ 之间均有显著性差异;15 d 时, $N1$ 、 $N2$ 之间差异不显著,但与 $N0$ 、 $N3$ 之间差异显著。在 $H3$ 处理下, $N1$ 与 $N0$ 、 $N3$ 之间均差异显著。15 d 时,在 $H3N1$ 处理下红花籽粒的干物质质量比 $H1N0$ 处理下红花籽粒的干物质质量增加了 3.57 倍。

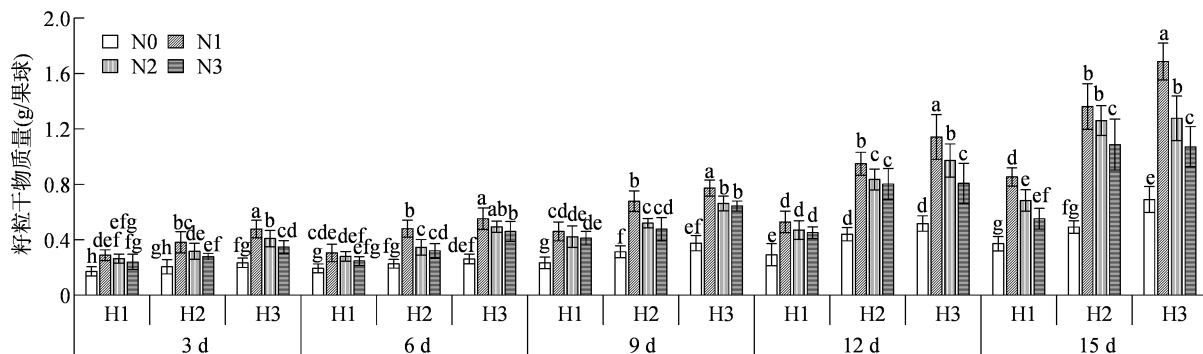


图 2 不同时期红花籽粒干物质质量的变化

2.1.4 水氮互作对红花花干物质含量的影响 由图 3 可知,随红花生长发育时间的推移,红花的花干物质质量先增加后降低,在 3 ~ 6 d 时,红花的花干物质质量有所增加,在 6 ~ 15 d 时,花中的干物质质量逐渐减少。相同氮素处理下,随土壤相对含水量的增加,红花花干物质质量逐渐增大,表现为 $H1 < H2 < H3$,且 $H1$ 与 $H3$ 处理差异显著。相同水分处理下,随施氮量的增加,红花花干物质质量先增加后降低,表现为 $N0 < N3 < N2 < N1$,在 6 d 时,在 $H1$ 处理下, $N0$ 、 $N3$ 均与 $N1$ 之间差异显著, $N3$ 与 $N2$ 之间差异不显著, $N1$ 、 $N2$ 之间差异不显著;在 $H2$ 处理下, $N3$ 与 $N0$ 、 $N1$ 差异显著, $N3$ 与 $N2$ 之间差异不显著, $N1$ 、 $N2$ 之间差异不显著;在 $H3$ 处理下, $N1$ 、 $N2$ 之间无显著差异,但与 $N0$ 、 $N3$ 之间差异显著。各处理下红花花干物质质量最高时(6 d 时), $H3$ 处理下红花花的

最高干物质质量比 $H1N0$ 处理下红花花的最低干物质质量提高了 108.52%。

2.1.5 水氮互作对果球中干物质分配的影响 由图 4 可知,随红花果球的生长发育,在 3 ~ 6 d 时,红花果球中苞叶的干物质质量转向籽粒和花,在 9 ~ 15 d 时,红花果球中的干物质质量从花和苞叶向籽粒转移。在 6 d 时,红花果球中干物质质量的占比表现为籽粒、花及苞叶相近,分别为 24.20% ~ 37.09%、27.65% ~ 40.85%、22.06% ~ 47.51%。在 9 ~ 12 d 时,红花果球中花、苞叶的干物质质量占比逐渐减少,籽粒干物质质量占比逐渐增大。在 15 d 时,红花果球中干物质质量的占比表现为籽粒 > 苞叶 > 花,分别为 35.20% ~ 75.64%、17.56% ~ 58.12%、6.68% ~ 8.70%。

2.2 水氮互作对籽粒发育期氮素分配的影响

2.2.1 水氮互作对籽粒中氮素积累量的影响 由

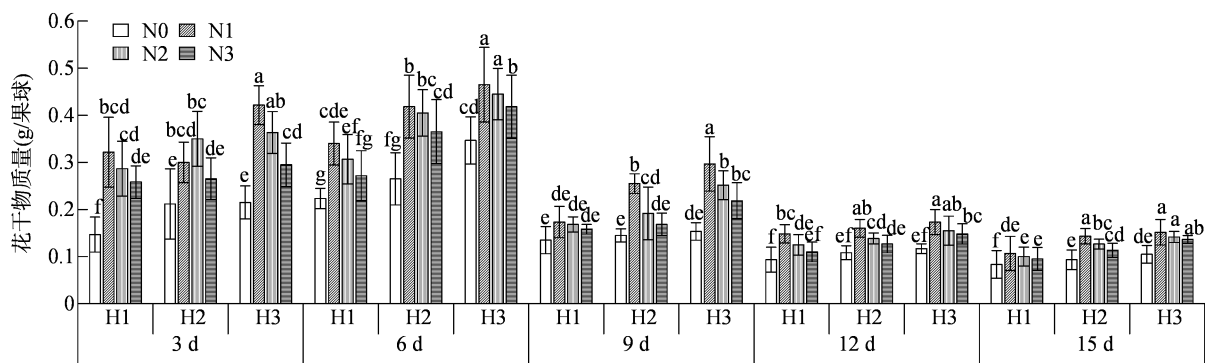


图3 不同时期红花花干物质量的变化

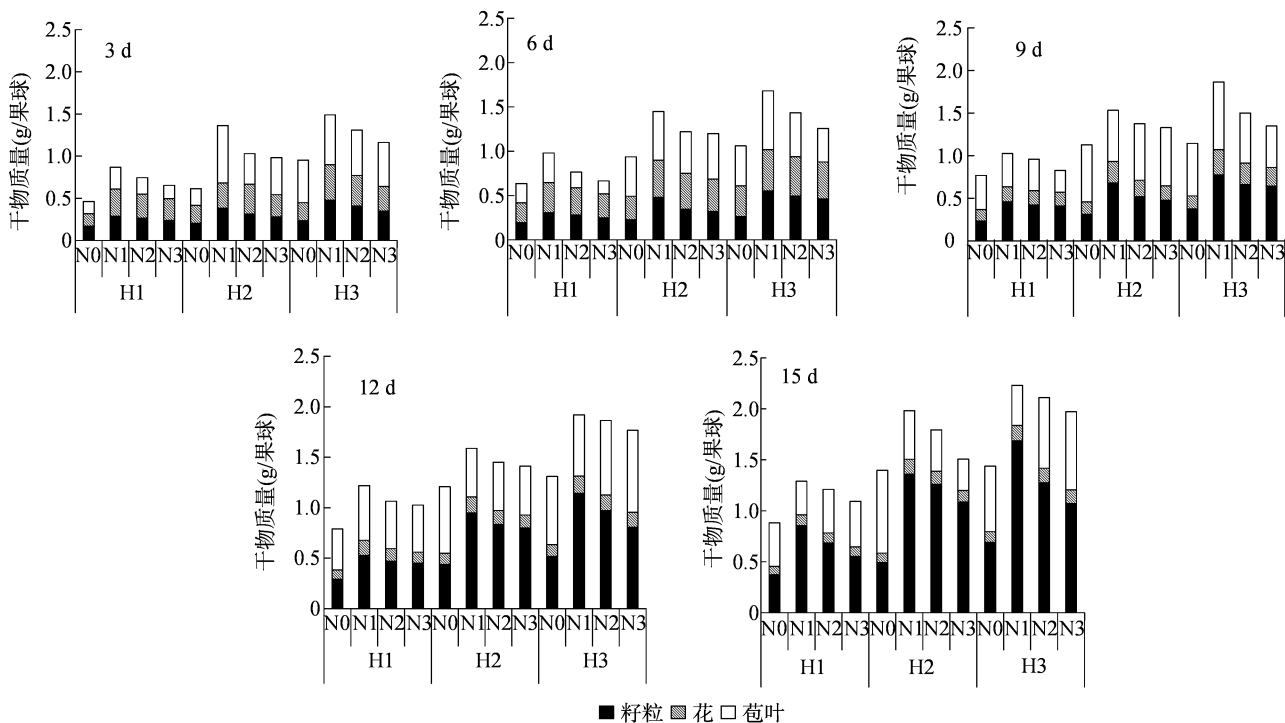


图4 不同时期红花果球干物质积累与分配的变化

图 5 可知,随红花果球的生长发育,不同处理下氮素在红花籽粒中的积累量逐渐增加,在 12 ~ 15 d 时积累较快,并在 15 d 时红花籽粒氮素积累量达到最大。相同氮素处理下,随土壤相对含水量的增加,氮素在红花籽粒中的积累量逐渐增大,表现为 $H1 < H2 < H3$,且 $H1$ 、 $H2$ 、 $H3$ 处理间均差异显著。相同水分处理下,随施氮量的增加,红花籽粒氮素积累量呈现出先增加后降低的变化趋势,表现为 $N0 < N3 < N2 < N1$,15 d 时,在 $H1$ 处理下, $N2$ 、 $N3$ 之间无显著差异,但与 $N0$ 、 $N1$ 之间差异显著;在 $H2$ 和 $H3$ 处理下,各氮素处理之间均差异显著。在 15 d 时, $H3N1$ 处理下红花籽粒的最高氮素积累量比 $H1N0$ 处理下红花籽粒的最低氮素积累量增加了 20.39 倍。

2.2.2 水氮互作对花中氮素积累量的影响 由图

6 可知,随红花果球的生长发育,氮素在红花花中的积累量先增加后降低,并在 6 d 时红花花中的氮素积累量达到最高。相同氮素处理下,随土壤相对含水量的增加,不同处理下氮素在红花花中的积累量逐渐增大,表现为 $H1 < H2 < H3$,且 $H1$ 、 $H2$ 、 $H3$ 处理间差异显著。相同水分处理下,随施氮量的增加,氮素在红花花中的积累量先增加后降低,表现为 $N0 < N3 < N2 < N1$ 。6 d 时,在 $H1$ 处理下, $N0$ 、 $N3$ 之间差异显著,且分别与 $N1$ 、 $N2$ 之间差异显著;在 $H2$ 和 $H3$ 处理下,各氮素处理之间均差异显著。在 6 d 时, $H3N1$ 处理下红花花中的最高氮素积累量比 $H1N0$ 处理下红花花中的最低氮素积累量增加了 11.46 倍。

2.2.3 水氮互作对果球中氮素积累与分配的影响

由图 7 可知,随红花果球的生长发育,籽粒的氮素

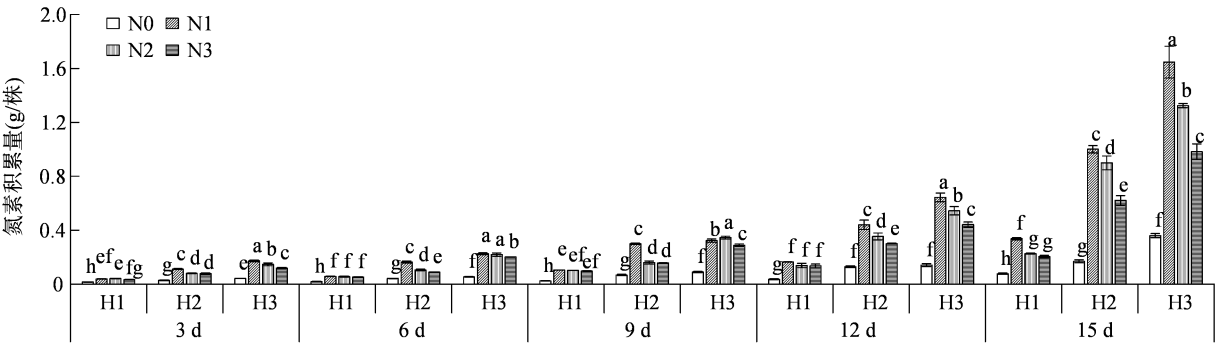


图5 不同时期红花籽粒氮素积累量的变化

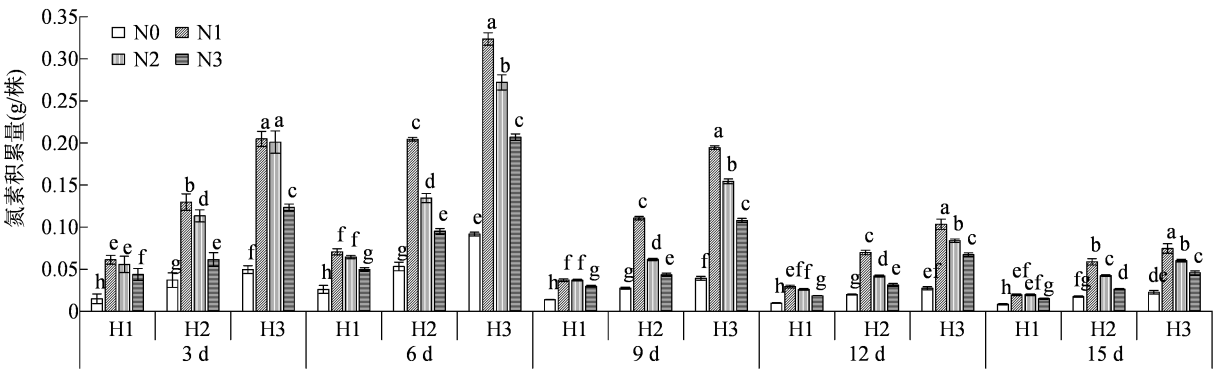


图6 不同时期红花花中氮素积累量的变化

积累量逐渐增加,在 15 d 时氮素积累量最大,说明红花生殖器官中的氮素分配比例逐渐增大。在 3 d 时,籽粒、花中的氮素积累量基本相近,在 3 ~ 6 d 时,氮素优先向花中积累,花中的氮素积累量增加,在 6 d 时达到最大值,表现为花 > 籽粒 > 苞叶,分别占

30.77% ~ 53.10%、21.52% ~ 41.10%、9.93% ~ 47.71%。在 9 ~ 15 d 时,氮素向籽粒转移,花及苞叶中氮素积累量减少,在 15 d 时,红花果球中氮素积累量表现为籽粒 > 苞叶 > 花,占比分别为 77.11% ~ 92.49%、3.32% ~ 14.52%、3.78% ~ 8.43%。

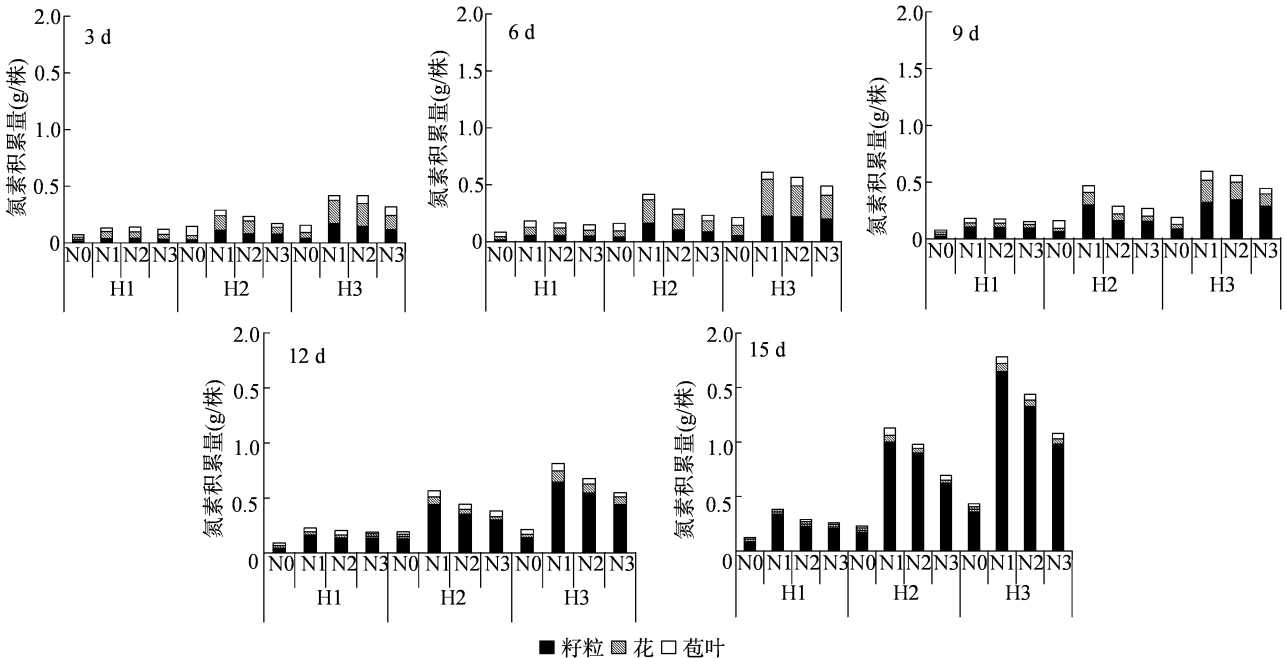


图7 不同时期红花果球氮素积累量与分配的变化

2.3 水氮互作对红花产量的影响

由表 3 可知,水分、氮素以及水氮互作对红花籽粒和花的产量均具有极显著影响。相同氮素含量处理下,随土壤相对含水量的增加,红花籽粒和花的产量均逐渐增大,表现为 H1 < H2 < H3, H1、H2、H3 之间均差异显著。相同水分处理下,随施氮量的增加,红花籽粒和花的产量先增加后降低,表现为 N0 < N3 < N2 < N1,在 H1 处理下,红花籽粒产量中, N1、N2 之间差异不显著, N2、N3 之间差异不显著, 但 N1、N3 之间差异显著,且三者均与 N0 之间差异显著;红花花产量中, N2、N3 之间差异不显著,但与 N0、N1 之间差异显著,且 N0、N1 之间差异显著。在 H2 处理下,红花籽粒产量中, N1、N2 之间差异不显著,但与 N0、N3 之间差异显著,且 N0、N3 之间差异显著;红花花产量中, N0、N1、N2、N3 之间均差异显著。在 H3 处理下,红花籽粒和花的产量表现为 N0、N1、N2、N3 之间均差异显著。红花籽粒和花在 H3N1 处理下的最高产量比 H1N0 处理下的最低产量分别增加了 17.19、6.65 倍。

表 3 不同处理下红花产量的变化

处理	产量(g/株)	
	籽粒产量	花产量
H1N0	1.36 ± 0.19h	0.48 ± 0.06h
H1N1	5.12 ± 0.40ef	1.40 ± 0.12e
H1N2	3.99 ± 0.45fg	1.11 ± 0.10f
H1N3	3.44 ± 0.31g	1.05 ± 0.13f
H2N0	3.04 ± 0.41g	0.88 ± 0.05g
H2N1	14.52 ± 1.75c	2.61 ± 0.20c
H2N2	13.02 ± 1.11c	2.17 ± 0.16d
H2N3	8.87 ± 1.51d	1.42 ± 0.04e
H3N0	5.87 ± 0.80e	1.31 ± 0.07e
H3N1	24.74 ± 1.95a	3.67 ± 0.23a
H3N2	17.24 ± 2.17b	3.39 ± 0.13b
H3N3	13.55 ± 1.86c	2.75 ± 0.15c
F 值		
项目	籽粒产量	花产量
H	512.72 **	1 082.31 **
N	252.05 **	539.88 **
H × N	38.38 **	47.04 **

3 讨论

3.1 水氮互作对红花干物质积累的影响

作物的光合作用最终以干物质的形态存在,其积累量对作物产量的高低至关重要,提高干物质的

积累量能促进作物增产^[15-16]。研究表明,适当的水氮供应能增加作物干物质积累量,然而,不合理的水氮施入是作物源-库关系失调,生长受限的原因之一^[17]。王小燕等指出,水分和氮素具有明显的交互作用,水分充足条件下增施氮肥可显著提升水分生产效率,较低氮素水平下,水分生产效率随灌水量的增加而降低^[18]。李宁等发现增施氮肥有利于王不留行植株地上部的干物质积累,植株地上部的干物质积累量随氮肥施用量的增加呈上升趋势,在成熟期,籽粒中干物质积累最多,根中的干物质积累最少^[19]。Plaut 等发现,水分胁迫加速了植株的衰老,使小麦穗部的光合活性下降,植物从营养器官到籽粒的干物质运输速率降低^[20]。Qi 等的研究表明在冬小麦拔节期、开花期,水分胁迫严重抑制了地上部干物质的积累,降低施氮水平后干物质的降幅急剧增加^[21]。本研究发现,在田间持水量为 65%~70%,施氮量为 240 kg/hm² 即 H3N1 处理下红花果球中各部位干物质积累量较高,在田间持水量为 35%~40%,施氮量为 0 kg/hm² 即 H1N0 处理下干物质积累量较低,表明水氮互作对红花果球、籽粒和花的干物质积累及分配均具有显著影响,适宜的水分和氮素可以促进红花植株中的干物质积累,调节干物质分配比例,有利于红花果球中干物质由花、苞叶向籽粒积累,这与前人的研究结果^[17-21]基本一致。

3.2 水氮互作对红花氮素分配的影响

水分在植物生长发育过程中的各个阶段发挥作用,并对植物的形态结构、生理性状和转录表达等具有一定的影响^[22],氮素是作物生长发育所必需的营养元素之一^[23],对作物生长发育的影响仅次于水分,是蛋白质、激素、叶绿素和生物碱的主要组成成分,氮素匮乏导致植物生长缓慢,生理生化活性改变^[24]。高宏伟等研究指出,通过适当施用氮肥,可以提高植物对氮的吸收能力,从而提高籽粒的品质;但过量施用就会阻碍小麦营养器官的正常功能,导致籽粒的发育受阻^[25-26]。研究表明,通过增加灌溉和施肥,能够有效促进作物的生长,并提升氮素储备;灌溉次数对小麦旗叶的氮素积累和转运有着重要的作用。与不灌水处理相比,在不同的灌溉条件下,小麦开花后旗叶的氮素转运效率明显提高^[27]。Dordas 等发现,氮素水平影响红花盛花期至成熟期的物候阶段以及籽粒灌浆期,与对照相比,施氮使开花期生物量平均增加 24%,成熟期生物量

平均增加 25%, 施氮增加了花后氮素积累, 提高了种子氮素含量^[28]。本研究中, H3N1 处理下红花籽粒和花中氮素积累量最高, H1N0 处理下氮素积累量最低, 在 3~6 d 时, 籽粒与花的氮素积累量在果球中所占的比例相近; 在 9~15 d 时, 氮素主要向籽粒转移, 籽粒的氮素积累量所占的比例逐渐增大, 且与花的氮素积累量差异较大, 并且此时氮素从花和苞叶向籽粒转移, 籽粒中氮素积累增加。

3.3 水氮互作对红花产量的影响

在全球范围内, 水分和氮素的有效性仍然是限制作物生长的最主要因素^[29], 适当的灌溉和施肥, 能够更好地发挥两者之间的互作效应, 从而实现优质高产的农业目标^[30]。褚丽丽的研究表明, 在营养生长期, 随水分胁迫和施氮量增加, 大豆产量呈现出增加的变化趋势, 但在过度的水分胁迫下, 增加大豆的氮肥施用量, 其生长会受到抑制, 干物质和产量均会降低^[31]。Cui 等研究发现, 水分是制约油籽亚麻籽粒高产的主要因素, 氮素对油籽亚麻籽粒产量的影响低于水分, 灌溉和施氮均提高了籽粒产量和生物量^[32]。水氮耦合管理栽培对作物产量有显著影响, 研究发现, 随土壤水分含量、氮肥用量增加, 滁菊鲜花总产量呈先增加后降低的趋势^[33]。本研究中, 水氮互作对红花产量具有极显著影响, 随着土壤相对含水量的增高, 红花籽粒和花的产量也表现为增加趋势; 而随着氮肥施加量的增加, 红花花和籽粒的产量均呈先增加再降低的趋势, 并在 H3N1 处理下产量最高, 在 H1N0 处理下产量最低, 籽粒和花的产量分别增加了 17.19、6.65 倍。

4 结论

水分、氮素以及水氮互作显著或极显著影响了红花盛花期—成熟期果球中干物质量、氮素分配、产量及物质分配, 适宜的水氮处理可改善红花的氮素分配比例, 促进氮素向籽粒中转移, 籽粒干物质量增加, 红花产量提高。试验结果表明, 在田间持水量为 65%~70%, 施氮量为 240 kg/hm² (H3N1) 处理下红花各项指标表现最好, 是红花达到高产和氮素高效利用的最佳栽培措施。

参考文献:

[1] 梁慧珍, 董薇, 余永亮, 等. 国内外红花种质资源研究进展[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(16): 71–74.
[2] 赵钢, 王安虎. 红花的资源及药用价值[J]. 中国野生植物资源, 2004(3): 24–25.

[3] 许兰杰, 刘新梅, 梁慧珍, 等. 红花种质顶果球籽粒质量及其相关农艺性状的回归分析和通径分析[J]. 中国农学通报, 2020, 36(22): 55–60.
[4] 许兰杰, 梁慧珍, 余永亮, 等. 我国红花品种特征特性、适应性及栽培技术研究进展[J]. 中药材, 2020, 43(8): 2037–2041.
[5] 许兰杰, 梁慧珍, 余永亮, 等. 河南红花种质资源表型性状的综合评价[J]. 河南农业科学, 2017, 46(10): 26–31.
[6] 吕培霖, 李成义, 王俊丽. 红花籽油的研究进展[J]. 中国现代中药, 2016, 18(3): 387–389.
[7] 梁慧珍, 许兰杰, 余永亮, 等. 红花籽油中脂肪酸组成评价与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 244–249.
[8] 谷卫彬, 黎大爵. 世界红花种质的籽油脂肪酸组分评价[J]. 植物资源与环境学报, 2002, 11(1): 17–19.
[9] Zhou L Y, Yan Y H, Wang Y, et al. Research progresses and prospects of medicated oil dual-purpose crop safflower based on patent mining[J]. Oil Crop Science, 2022, 7(4): 209–218.
[10] 谷晓博, 李援农, 黄鹏, 等. 水氮互作对冬油菜氮素吸收和土壤硝态氮分布的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(7): 1283–1293.
[11] 胡喜巧, 陈红芝, 郭佩宏, 等. 氮磷钾配施对红花产量及其有效成分在器官中分配的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2023, 41(1): 53–62.
[12] 柴逸飞. 水氮互作对红花生长发育、产量和品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022: 28–38.
[13] Shahrokhnia M H, Sepaskhah A R. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 95: 126–139.
[14] 梁慧珍, 杨红旗, 余永亮, 等. 我国红花种植业发展优势明显[N]. 河南科技报, 2019–11–19(B7).
[15] 倪芊芊, 蔡洪梅, 吴宇, 等. 不同季秸秆还田对冬小麦干物质积累分配及氮素利用率的影响[J]. 麦类作物学报, 2023, 43(1): 75–80.
[16] Yan D C, Zhu Y, Wang S H, et al. A quantitative knowledge-based model for designing suitable growth dynamics in rice[J]. Plant Production Science, 2006, 9(2): 93–105.
[17] 修俊杰, 赵新华, 刘学良. 花针期水氮互作对铁引花 2 号花生氮素累积与分配及产量的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(4): 454–461.
[18] 王小燕, 王东, 于振文. 水氮互作对小麦旗叶光合特性、籽粒产量及氮素和水分利用率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(6): 17–22.
[19] 李宁, 杨太新. 不同氮肥处理对王不留行氮素吸收利用及产量的影响[J]. 中药材, 2018, 41(9): 2044–2047.
[20] Plaut Z, Butow B J, Blumenthal C S, et al. Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature[J]. Field Crops Research, 2004, 86(2/3): 185–198.
[21] Qi Y L, Zhang F C, Li K F. Effects of water deficit and nitrogen fertilization on winter wheat growth and nitrogen uptake[J]. The Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10): 2399–2405.

张帆,刘博,石玉,等. 干旱胁迫下嫁接对辣椒幼苗生长及生理特性的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):186-191.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.028

干旱胁迫下嫁接对辣椒幼苗生长及生理特性的影响

张帆¹,刘博²,石玉¹,王军娥¹,张毅¹

(1. 山西农业大学园艺学院,山西太谷 030801; 2. 华中农业大学园艺林学学院,湖北武汉 430070)

摘要:以辣椒品种红缨枪为砧木、奥黛丽为接穗进行嫁接,采用水培方式,以奥黛丽辣椒自根苗为对照,模拟干旱处理(1/2 日本山崎甜椒营养液 + 10% PEG)与正常营养液培养(1/2 倍日本山崎甜椒营养液),研究干旱胁迫下嫁接对辣椒幼苗生长、水分代谢、抗氧化特性的影响。结果表明,与正常培养条件(CK)相比,干旱胁迫显著抑制辣椒自根苗的生物量与叶绿素含量的积累,并显著提高自根苗的丙二醛含量及相对电导率,降低 SOD、POD、CAT 的活性,自根苗叶片的相对含水量、叶片水势、根系活力、根系水力学导度在干旱胁迫下分别显著降低 34.55%、42.37%、28.13%、96.85% ($P < 0.05$)。在干旱胁迫下,嫁接苗的生物量与叶绿素含量显著高于自根苗,嫁接苗的 SOD、POD、CAT 活性较自根苗显著上升,丙二醛含量、相对电导率显著下降,且嫁接苗的根系活力、叶片相对含水量较自根苗分别显著提高 20.36%、39.03% ($P < 0.05$)。因此,干旱胁迫下,辣椒幼苗的抗氧化系统与水分代谢会受到不同程度的破坏,幼苗的生长发育受阻;嫁接处理可有效提高辣椒幼苗的抗旱能力,干旱胁迫下嫁接苗生物量、叶绿素含量的积累比自根苗显著提高,并显著提高幼苗的抗氧化酶活性和水分调节能力,有效缓解干旱胁迫对辣椒幼苗的伤害。

关键词:干旱胁迫;嫁接;辣椒;生长指标;水分代谢;抗氧化系统

中图分类号:S641.301;S641.304

文献标志码:A

文章编号:1002-1302(2024)05-0186-06

干旱是影响农作物生长发育的主要非生物胁迫之一,严重制约农作物的生长发育与正常生理代

谢的进程^[1]。研究表明,干旱胁迫会直接影响植物体内的水分状况,在水分亏缺条件下,植物的光合作用、抗氧化防御等生理代谢系统会遭到不同程度的破坏,影响植株的生物量累积与形态发育^[2]。近年来,我国作物的干旱受灾面积每年达 1 500 万 hm^2 以上;干旱是制约我国农作物生长的主要环境因子之一^[3]。研究干旱胁迫对农作物生长及其生理代谢的影响,对促进农作物生长发育、提高抗逆性均具有重要意义。

收稿日期:2023-04-11

基金项目:山西省重点研发计划(编号:201903D221065);山西省重点研发计划重点项目(编号:201903D211011-03)。

作者简介:张帆(1998—),男,山东济宁人,硕士研究生,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:752278872@qq.com。

通信作者:石玉,博士,副教授,主要从事设施蔬菜栽培生理研究。E-mail:ayu-shi@163.com。

[22]王倩. 干旱条件下不同苹果品种氮利用效率比较及差异机制研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2019:22-28.

[23]崔佩佩,丁玉川,焦晓燕,等. 氮肥对作物的影响研究进展[J]. 山西农业科学,2017,45(4):663-668.

[24]于肖. 水、氮处理下谷子生长发育、生理特性及水肥利用效率的响应[D]. 济南:山东师范大学,2022:22-33.

[25]高宏伟,杨武德,冯美臣,等. 氮运筹对冬小麦氮素积累量和氮素吸收利用效率的影响[J]. 山西农业科学,2020,48(3):392-395.

[26]夏来坤,陶洪斌,朱金城,等. 施氮时期对夏玉米碳氮运转及氮肥利用的影响[J]. 华北农学报,2009,24(3):208-211.

[27]路永强,刘玉秀,周发宝,等. 不同水分供应对小麦氮素积累、分配和产量的影响[J]. 西北农业学报,2019,28(11):1760-1768.

[28]Dordas C A, Sioulas C. Dry matter and nitrogen accumulation,

partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization[J]. Field Crops Research, 2019,110(1):35-43.

[29]Quemada M, Gabriel J L. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously[J]. Global Food Security, 2016,9:29-35.

[30]张秋英,刘晓冰,金剑,等. 水肥耦合对玉米光合特性及产量的影响[J]. 玉米科学,2001(2):64-67.

[31]褚丽丽. 营养生长期水分胁迫和氮素对大豆干物质及产量的影响[J]. 节水灌溉,2016,251(7):31-35.

[32]Cui Z F, Effah Z, Yan B, et al. Water and nitrogen coupling increased the water-nitrogen use efficiency of oilseed flax[J]. Plants,2022,12(1):51-52.

[33]李孝良,程婷婷,王付春,等. 水氮耦合对道地药材滁菊产量及生物量的影响[J]. 中药材,2013,36(9):1381-1385.