

孙世宇,范海燕,刘洪禄,等. 基于主成分分析的温室白萝卜水氮耦合效应[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):159-165.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.024

基于主成分分析的温室白萝卜水氮耦合效应

孙世宇^{1,2}, 范海燕^{1,3}, 刘洪禄^{1,3}, 周 慧^{1,2}

(1. 北京市水科学技术研究院, 北京 100048; 2. 河海大学农业科学与工程学院, 江苏南京 210098;

3. 北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心, 北京 100048)

摘要:为探究不同水氮处理对温室白萝卜的影响,设置 3 个灌溉水平 100% ET_0 (W1)、85% ET_0 (W2)、70% ET_0 (W3) 和 3 个施氮水平 240 (N1)、204 (N2)、168 kg/hm^2 (N3),观测不同水氮措施下白萝卜叶片叶绿素含量、果实品质、耗水量、产量、水分生产效率 and 氮肥偏生产力的变化规律,基于主成分分析法对温室白萝卜进行综合指标评价。结果表明:灌溉对温室白萝卜叶片叶绿素含量呈极显著相关,施氮和水氮交互效应对其影响未达到显著水平,W3N3 处理下叶绿素含量增长最显著;灌溉对温室白萝卜干物质含量和水分利用效率的影响达显著水平,对其余品质指标、产量和氮肥偏生产力的影响不显著;施氮和水氮交互作用对温室白萝卜氮肥偏生产力影响达到显著水平,对品质指标、产量和水分利用效率影响不显著,W1N3 处理下温室白萝卜的产量和氮肥偏生产力最大,较其他处理产量提高 3.75% ~ 22.13%,氮肥偏生产力提高 7.25% ~ 74.48%;各个处理全生育期耗水量范围为 208.6 ~ 292.4 mm,作物系数值范围为 1.12 ~ 1.68。通过主成分分析综合指标评价,9 个处理的评价得分排序为 W1N3 > W2N3 > W2N2 > W2N1 > W3N3 > W3N2 > W1N2 > W1N1 > W3N1。综上,W1N3 处理组合(100% ET_0 灌水量和 168 kg/hm^2 施氮量)是温室白萝卜的最优水氮处理。

关键词:温室白萝卜;水分生产效率;氮肥偏生产力;产量;主成分分析

中图分类号:S631.106;S631.107 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0159-06

白萝卜属于根茎类蔬菜、十字花科萝卜属植物,在饮食和中医领域均有广泛应用,已有千年种植历史。2020 年我国萝卜种植面积达 133 万 hm^2 ,收获面积和产量均居世界第一^[1]。目前,我国蔬菜水氮投入量过大,导致蔬菜的水氮利用效率不高^[2-5]。水分和氮素都是影响作物生长的关键因素,适宜的水氮处理措施是提高蔬菜产量和品质的重要保障^[6-8]。因此,探明不同水氮措施对蔬菜的影响,是当前实际生产的迫切需求。

近年来,国内外对不同水氮措施下蔬菜产量和品质的研究较多^[9-21]。张娟等在膜下滴灌条件下研究不同灌水上下限对温室白萝卜的影响,并提出了适宜的白萝卜灌水上下限^[22-23]。范海燕等基于主成分分析研究了露地白萝卜滴灌施肥制度,并提

出白萝卜最佳水氮用量^[24]。张贵龙等在日光温室条件下,研究不同氮素供应水平对白萝卜氮素利用的影响,并提出秋冬季白萝卜施氮量应在 200 kg/hm^2 内^[25]。刘杜平通过研究不同氮肥用量对白萝卜产量和水分利用效率的影响发现,当施氮量为 150 kg/hm^2 时,水分利用效率最高^[26]。本研究将白萝卜作为供试材料,研究不同水氮条件下温室白萝卜产量、品质、水分生产效率、氮肥偏生产力等指标的变化规律,并通过主成分分析法对温室白萝卜进行综合分析,以为实际生产活动提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验区基本情况

试验在北京市灌溉试验中心站永乐店试验基地进行。基地位于北京市通州区永乐店镇(39°20'N, 116°20'E),海拔 12 m,多年平均降水量为 565 mm,多年平均水面蒸发量为 1 140 mm,多年平均气温为 11.5 °C,无霜期 185 d,地下水埋深大于 8 m。试验区土壤质地主要为壤土,容重为 1.49 g/cm^3 ,土壤 pH 值为 7.9,田间持水率 29%。种植前表层 0 ~ 20 cm 土壤硝态氮全量为 102.46 mg/kg,铵态氮含

收稿日期:2023-04-22

基金项目:北京市非常规水资源开发利用与节水工程技术研究中心
开放基金(编号:ERC-KF-2021-008-SZY)。

作者简介:孙世宇(1997—),男,江苏淮安人,硕士研究生,主要从事农业工程研究。E-mail:308465748@qq.com。

通信作者:范海燕,硕士,正高级工程师,主要从事水肥资源高效利用研究。E-mail:562443413@qq.com。

量为 7.05 mg/kg; 20 ~ 60 cm 土壤硝态氮量 98.47 mg/kg, 铵态氮含量为 4.85 mg/kg。

1.2 试验设计

试验在北京市灌溉试验中心站永乐店试验基地 5 号温室内进行, 供试作物均为捷美 1410 号白萝卜, 于 2021 年 9 月 24 日直播, 12 月 31 日收获。生育期可分为 4 个周期, 分别为发芽期(9 月 24 日至 10 月 10 日)、幼苗期(10 月 11—28 日)、叶部生长旺盛期(10 月 29 日至 11 月 24 日)、肉质根生长旺盛期(11 月 25 日至 12 月 31 日)^[24]。试验设置 2 个变量因素, 分别是施氮量(N)和灌水量(W), 灌水量以参考作物蒸发蒸腾量(ET₀)为依据, 施氮量参照当地推荐施氮量。设置 W1(100% ET₀)、W2(85% ET₀)、W3(70% ET₀) 3 个灌溉水平, N1(240 kg/hm²)、N2(204 kg/hm²)、N3(168 kg/hm²) 3 个施氮水平, 每个处理重复 3 次, 共 9 个处理(表 1)。小区长×宽=7.3 m×5.0 m, 每个小区辖 4 畦, 每畦种植 2 行, 畦长 7.3 m, 宽 0.9 m, 行距 0.4 m, 株距 0.35 m,

每行种植 20 株。

表 1 试验处理设置

处理编号	灌水量	施氮量 (kg/hm ²)
1	100% ET ₀	240
2	100% ET ₀	204
3	100% ET ₀	168
4	85% ET ₀	240
5	85% ET ₀	204
6	85% ET ₀	168
7	70% ET ₀	240
8	70% ET ₀	204
9	70% ET ₀	168

灌水方式为滴灌, 滴头间距 30 cm, 额定压力 0.1 MPa, 设计流量 1.35 L/h。幼苗期时不进行任何处理, 进入叶部生长旺盛期后平均每 5 d 灌溉 1 次。参考作物蒸发蒸腾量(ET₀)由 HOBO 小型气象站采集的逐日气象信息, 经彭曼公式计算得出, ET₀和 W1 处理的变化情况见图 1。

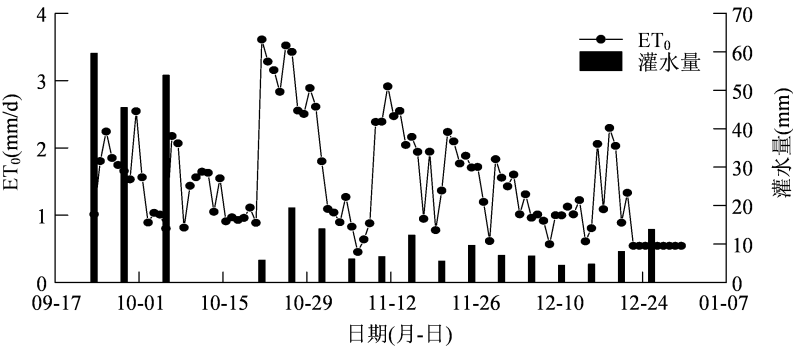


图1 ET₀及 W1 处理灌溉情况

播种前施用有机肥 6 000 kg/hm² 和复合肥 800 kg/hm²。播种后施尿素(含氮量 46%)追肥 2

次, 具体施肥情况如表 2 所示。

表 2 温室白萝卜各处理追肥时间及追肥量

日期 (月-日)	N1		N2		N3	
	尿素施用量	纯氮施用量	尿素施用量	纯氮施用量	尿素施用量	纯氮施用量
11-21	260	120	222	102	183	84
12-26	260	120	222	102	183	84
合计	520	240	444	204	366	168

1.3 观测指标及方法

1.3.1 土壤含水率 试验在每个小区插入 Trime 测管, 采用 Trime-IPH 便携式土壤水分监测仪分层测定土壤含水率, 每 10 cm 为 1 层, 从地表至地下 100 cm 处。

1.3.2 叶绿素含量 叶片叶绿素含量采用 CCM300 叶绿素仪测定, 每个小区取 3 株, 每株选取

3 张叶片测定并取平均值。

1.3.3 产量 果实成熟后, 按不同小区记录果实产量, 收获期结束后计算总产量。

1.3.4 品质指标 干物质、维生素 C、粗蛋白含量等品质指标等由中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所提供检测报告。

1.3.5 耗水量 采用水量平衡法计算不同时段内

白萝卜的耗水量:

$$ETc = W + P + M - D - \Delta K。$$
 (1)

式中: ETc 为耗水量, mm; W 为灌水量, mm; P 为有效降水量, mm; 温室中无降雨, P 为 0; M 为地下水补给量, mm; 试验区地下水埋深大于 8 m, 故地下水补给量为 0; D 为深层渗漏量, mm; ΔK 为生育期始末 0 ~ 100 cm 土壤含水率变化量, mm。

1.3.6 水分生产效率 计算式为:

$$YUE = Y/ETc。$$
 (2)

式中: Y 为经济产量, kg/hm²; ETc 为耗水量, mm; YUE 为水分生产效率, kg/m³。

1.3.7 氮肥偏生产力 计算式为:

$$PFPN = Y_r/M。$$
 (3)

式中: Y_r 为作物肉质根产量, kg/hm²; M 为施氮量, kg/hm²; $PFPN$ 为氮肥偏生产力, kg/kg。

1.3.8 作物系数 计算式为:

$$K_c = ETc/ET_0。$$
 (4)

式中: K_c 为作物系数; ETc 为耗水量, mm; ET_0 为参考作物蒸发蒸腾量, mm。

2 结果与分析

2.1 不同水氮处理对温室白萝卜叶绿素含量的影响

由图 2 可知, 相同灌水条件下叶绿素含量呈现出先减小后增大的变化趋势, 施氮量对叶绿素含量影响不显著。W1 和 W2 灌水条件下叶绿素含量变化的拐点出现在叶部生长旺盛期, 过拐点后叶绿素含量持续增大。W3 灌水条件下叶绿素含量变化的拐点出现的较晚, 直至肉质根生长旺盛期初才进入拐点, 推测是低灌溉水平导致作物在叶部生长旺盛期生长速度减缓, 从而一定程度上抑制了作物叶片对叶绿素的合成。

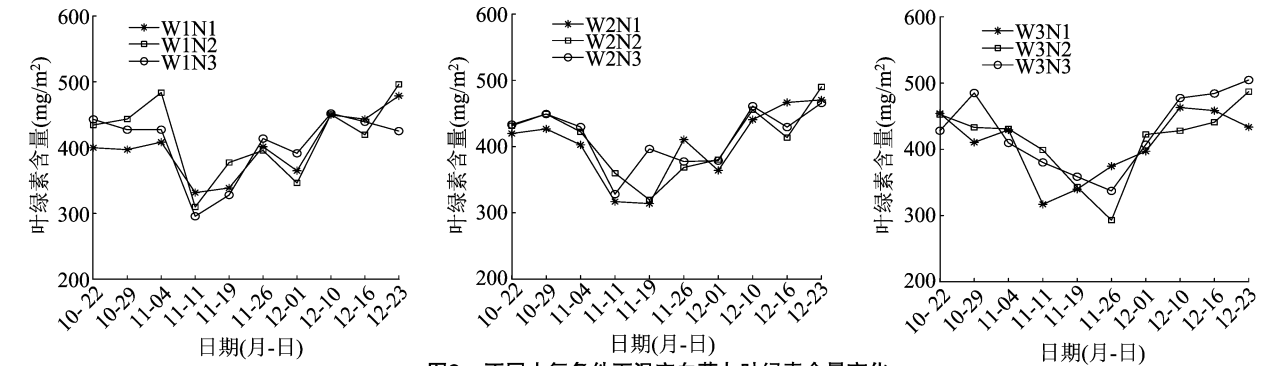


图2 不同水氮条件下温室白萝卜叶绿素含量变化

由表 3 可知, 灌溉对温室白萝卜叶片叶绿素含量的影响达极显著水平, 施氮水平和水氮交互效应对叶片叶绿素含量的影响未达到显著水平。不同水氮措施下 W3N3 处理的叶绿素平均含量最大, 比其他处理高 11.51 ~ 23.22 mg/m², 其他处理下平均叶绿素含量依次为 W1N2 > W2N3 > W3N2 > W2N2 > W3N1 > W1N3 > W2N1 > W1N1。W3N3 处理下叶绿素增长效应最显著, 这说明虽然低灌溉水平在叶部生长旺盛期会延缓叶绿素的形成, 但对植株叶绿素的积累具有一定的促进作用。

表 3 不同水氮条件下温室白萝卜叶绿素方差分析结果

变异来源	平方和	df	均方	F 值	P 值
W	202 585.50	29	6 985.71	10.66	<0.001 **
N	2 444.34	2	1 222.17	3.68	0.050
W × N	3 914.03	7	559.15	1.59	0.244

注: *、** 表示影响显著、极显著。表 4、表 7 同。

2.2 不同水氮处理对温室白萝卜品质的影响

表 4 表明, 灌水对温室白萝卜干物质含量的影

响达到显著水平, 对维生素 C、粗蛋白和可溶性糖含量的影响均未达到显著水平。施氮水平对温室白萝卜干物质、维生素 C、粗蛋白和可溶性糖含量的影响均未达到显著水平。水氮交互效应对温室白萝卜粗蛋白含量的影响呈显著水平, 对其余各项指标的影响均不显著。

W1 灌溉条件下, 各指标均随施氮量的增加而减小。W2 灌溉条件下, 干物质含量呈 N1 ≈ N2 > N3 变化规律, 维生素 C 含量呈 N1 ≈ N3 > N2 变化规律, 粗蛋白和可溶性糖含量呈 N3 > N2 > N1 变化规律。W3 灌溉条件下, 干物质含量呈 N1 > N2 ≈ N3 变化规律, 维生素 C 和粗蛋白含量呈 N3 > N2 > N1 变化规律, 可溶性糖含量呈 N1 > N2 > N3 变化规律。与低灌水量低氮处理(W3N3)相比, 各处理干物质含量增加 0 ~ 0.7%, 维生素 C 含量减少 0 ~ 1.6 mg/100 g, 粗蛋白含量增加 -3.3% ~ 0.8%, 可溶性糖含量增加 -0.17% ~ 0.22%。

表 4 不同水氮条件下温室白萝卜各营养成分分析结果

处理	干物质含量 (%)	维生素 C 含量 (mg/100 g)	粗蛋白含量 (%)	可溶性糖含量 (%)
W1N1	4.2	21.8	15.0	1.51
W1N2	4.3	22.6	15.4	1.63
W1N3	4.7	23.0	15.6	1.67
W2N1	4.6	23.4	16.4	1.64
W2N2	4.6	22.8	18.1	1.72
W2N3	4.3	23.4	18.2	1.85
W3N1	4.1	22.0	14.1	1.87
W3N2	4.0	23.2	16.6	1.48
W3N3	4.0	23.4	17.4	1.65
P 值				
因素	干物质含量	维生素 C 含量	粗蛋白含量	可溶性糖含量
W	0.048 *	0.381	0.115	0.529
N	0.988	0.234	0.271	0.639
W × N	0.295	0.270	0.048	0.745

N1 施氮处理下,温室白萝卜干物质、维生素 C 和粗蛋白含量随灌水量增加呈先增大后减小的趋势,可溶性糖含量呈 W3 > W2 > W1 变化趋势。N2 施氮处理下,干物质、粗蛋白和可溶性糖含量随灌水量增加呈先增加后减小的趋势,维生素 C 含量呈 W3 > W2 > W1 变化趋势。N3 施氮处理下,干物质含量呈 W1 > W2 > W3 变化规律,维生素 C 含量呈 W3 ≈ W2 > W1 变化规律,粗蛋白和可溶性糖含量随灌水量增加呈现先增大后减小的变化规律。各处理中 W1N3 处理的干物质含量最多,为 4.7%,较其

他处理多 0.1 ~ 0.7 百分点。W2N1 处理下维生素 C 含量最多,为 23.4 mg/100 g,较其他处理多 0.2 ~ 1.6 mg/100 g。W2N3 处理下粗蛋白含量最多,为 18.2%,较其他处理多 0.1 ~ 4.1 百分点。W3N1 处理下可溶性糖含量最多,为 1.87%,较其他处理多 0.02 ~ 0.39 百分点。

2.3 不同水氮处理对温室白萝卜耗水规律的影响

由表 5 可知,全生育期内 W3N1 处理耗水量、耗水强度最小,分别为 208.6 mm、2.1 mm/d, W1N3 处理下耗水量、耗水强度最大,分别为 292.4 mm、3.0 mm/d。全生育期内幼苗期耗水量最大,占全生育期的 30.99% ~ 44.98%,这是由于幼苗期叶片小,地面蒸发量大^[22]。施氮条件相同时,温室白萝卜的耗水量与灌水量呈正相关,高、中灌水处理较低灌水处理耗水量分别增加 29.95%、10.47%;灌溉条件相同时,施氮量对温室白萝卜耗水量的影响并不显著。

表 6 显示, W1N3 处理下的 Kc 值最大,为 1.68, W3N1 处理下的 Kc 值最小,为 1.12。各处理的 Kc 值受灌水量影响较为显著,灌水量越大, Kc 值越大。在相同灌水条件下,不同施氮处理对 Kc 值的影响并不显著。

2.4 不同水氮处理对温室白萝卜产量、水分利用效率以及氮肥偏生产力的影响

由表 7 可知, W1N3 处理下产量最大,为 101.77 t/hm²,较其他处理高 3.75% ~ 22.13%。在相同灌水条件下,温室白萝卜产量随施氮量增加而

表 5 温室白萝卜全生育期耗水量

生育期	W1N1		W1N2		W1N3		W2N1		W2N2	
	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)
发芽期	44.6	2.6	43.6	2.6	41.2	2.4	43.0	2.5	44.4	2.6
幼苗期	111.7	6.6	128.1	7.5	98.0	5.8	96.8	5.7	100.8	5.9
叶部生长旺盛期	73.9	4.1	42.4	2.4	63.9	3.6	46.8	2.6	41.1	2.3
肉质根生长旺盛期	52.7	1.4	70.7	1.9	89.3	2.4	61.0	1.7	53.9	1.5
全生育期	282.9	2.9	284.8	2.9	292.4	3.0	247.6	2.5	240.2	2.4
生育期	W2N3		W3N1		W3N2		W3N3			
	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)	耗水量 (mm)	耗水强度 (mm/d)		
发芽期	39.8	2.3	40.8	2.4	42.2	2.5	42.6	2.5		
幼苗期	95.6	5.6	76.8	4.5	68.3	4.0	103.9	6.1		
叶部生长旺盛期	57.9	3.2	35.8	2.0	44.8	2.5	20.8	1.2		
肉质根生长旺盛期	52.0	1.4	55.2	1.5	65.1	1.8	67.4	1.8		
全生育期	245.3	2.5	208.6	2.1	220.4	2.2	234.7	2.4		

表 6 温室白萝卜作物系数

处理	Kc 值
W1N1	1.60
W1N2	1.61
W1N3	1.68
W2N1	1.37
W2N2	1.31
W2N3	1.38
W3N1	1.12
W3N2	1.19
W3N3	1.29

表 7 温室白萝卜各处理产量、水分生产效率及氮肥偏生产力

处理	产量 (t/hm ²)	水分生产效率 (kg/m ³)	氮肥偏生产力 (kg/kg)
W1N1	92.01	38.62	383.39
W1N2	98.09	40.66	480.84
W1N3	101.77	40.51	605.76
W2N1	91.74	45.80	390.58
W2N2	90.40	46.16	443.12
W2N3	94.89	46.18	564.82
W3N1	83.33	49.67	347.19
W3N2	86.89	48.76	425.93
W3N3	89.37	46.53	531.96

变异来源	P 值		
	产量	水分生产效率	氮肥偏生产力
W	0.084	0.030 *	0.707
N	0.434	0.567	0.002 **
W × N	0.100	0.052	0.002 **

减小,说明提高施氮量不一定会增加产量,当施氮量超过某一阈值时反而会对产量增长有抑制作用。当施氮量相同时,温室白萝卜产量随灌水量增加而提高,这是由于充足的灌水量促进了作物对土壤中养分的吸收,从而提高了产量^[27]。

W3N1 处理下水分生产效率最高,为 49.67 kg/m³。整体而言,水分生产效率随产量提高而降低,相同灌溉水平下不同施氮量对水分生产效率无显著影响。

氮肥偏生产力是反映氮肥利用效率的指标。施氮量和水氮交互效应与温室白萝卜的氮肥偏生产力呈极显著相关。相同灌溉水平下氮肥偏生产力随氮肥施用量的减少而提高,各处理中 W1N3 处理的氮肥偏生产力最大,为 605.76 kg/kg,较其他处理下的氮肥偏生产力增加 7.25% ~ 74.48%,表明

在一定限度内灌水量越充足,氮肥偏生产力越高。

图 3 表明,温室白萝卜产量受灌水量与施氮量的影响并存在一个极大值,即当灌水量为 278.45 mm、施氮量为 176 kg/hm² 时,产量达到极大值 105.64 t/hm²;当灌水量和施氮量超过该值时,产量呈现出下降的变化趋势。

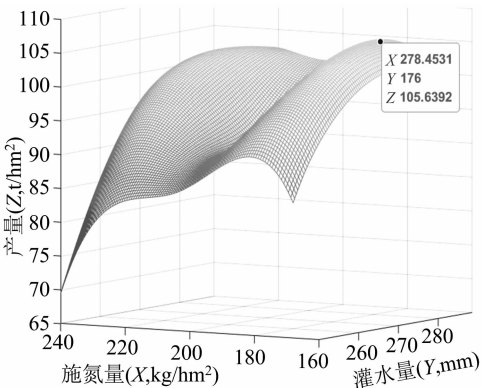


图3 温室白萝卜产量与灌水利施氮量关系三维分析图

2.5 基于主成分分析的水氮耦合制度研究

选择温室白萝卜产量、施氮量、叶片平均叶绿素含量、干物质含量、维生素 C 含量、粗蛋白含量、可溶性糖含量和全生育期灌水量等 8 个指标进行主成分分析,主成分特征值及贡献率如表 8 所示。选取主成分特征值大于 1 且累计贡献率大于 90% 的前 4 个成分作为主成分来解释各项指标。

表 8 主成分特征值及贡献率

主成分	特征值	贡献率 (%)	累计贡献率 (%)
Z1	4.16	29.33	29.33
Z2	2.75	27.48	56.83
Z3	1.30	22.07	78.88
Z4	1.09	14.12	93.00

由表 9 可知,各水氮处理的综合评分表现为 W1N3 > W2N3 > W2N2 > W2N1 > W3N3 > W3N2 > W1N2 > W1N1 > W3N1。其中,W1N3 处理的评分最高,此时灌水量为 278.09 mm,施氮量为 168 kg/hm²,与图 3 三维关系曲面分析结果基本吻合。

根据主成分分析结果,在相同灌溉水平下,水氮耦合效果呈现出 N3 > N2 > N1 的变化趋势,说明相同灌溉水平下,低施氮量较高施氮量水氮耦合效果更好,更能促进作物的生长。

3 结论

灌水量对温室白萝卜叶片叶绿素含量的影响达

表 9 不同水氮处理下温室白萝卜各项指标综合分析

处理	评分					排名
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z 综合	
W1N1	-0.63	-1.43	0.16	1.25	-0.40	8
W1N2	0.69	-0.98	-0.01	0.60	0.02	7
W1N3	1.15	-0.71	1.26	-0.24	0.41	1
W2N1	-1.13	0.99	1.08	0.31	0.24	4
W2N2	-0.39	0.94	0.97	-0.35	0.33	3
W2N3	1.00	0.65	0.07	-1.14	0.35	2
W3N1	-1.36	-0.96	-0.98	-1.76	-1.21	9
W3N2	-0.47	1.01	-1.11	1.18	0.07	6
W3N3	1.15	0.51	-1.45	0.15	0.19	5

到极显水平,施氮量和水氮交互效应对温室白萝卜叶绿素含量的影响未达到显著水平。在不同的水氮措施下,W3N3 处理的叶绿素含量最大,增长效应最明显。灌溉对温室白萝卜干物质含量和水分利用效率的影响达显著水平,对其余品质指标、产量和氮肥偏生产力的影响不显著。施氮和水氮交互作用对温室白萝卜氮肥偏生产力影响达到显著水平,对品质指标、产量和水分利用效率影响不显著。W1N3 处理下温室白萝卜的产量和氮肥偏生产力最大,较其他处理产量提高 3.75% ~ 22.13%,氮肥偏生产力提高 7.25% ~ 74.48%。

各个处理在全生育期中耗水量总和为 208.6 ~ 292.4 mm,平均耗水强度范围为 2.11 ~ 2.95 mm/d,作物系数值范围为 1.12 ~ 1.68。不同水氮条件下作物系数、耗水量、平均耗水强度随灌水量增加而提高。施氮量对作物系数、耗水量、平均耗水强度无显著影响。

温室白萝卜的主成分分析结果显示,W1N3 处理为最优处理。相同灌溉水平下,水氮耦合效果随施氮量增大而减弱,这说明水氮耦合对温室白萝卜生长的影响存在 1 个阈值,当灌水量和施氮量超过阈值时,增产效果减弱,甚至会造成减产^[24,28]。通过构建的温室白萝卜产量、灌水量、施氮量三维关系曲面图可知,温室白萝卜的灌水量阈值约为 278.45 mm,施氮量阈值约为 176 kg/hm²。

参考文献:

[1]魏 松. 白萝卜气吸式精量播种机研究[D]. 贵阳:贵州大学, 2022:1-6.

[2]Ti C P,Luo Y X,Yan X Y. Characteristics of nitrogen balance in open-air and greenhouse vegetable cropping systems of China[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2015, 22 (23):

18508-18518.

[2]梁 静,王丽英,陈 清,等. 我国设施番茄氮肥施用量现状及其利用率、产量影响和地力贡献率分析评价[J]. 中国蔬菜,2015 (10):16-21.

[4]张 婧. 设施蔬菜地土壤 N₂O 排放与硝态氮淋溶的模拟研究[D]. 北京:中国农业科学院,2019:1-9.

[5]刘发波,马 笑,张 芬,等. 硝化抑制剂对我国蔬菜生产产量、氮肥利用率和氧化亚氮减排效应的影响:Meta 分析[J]. 环境科学,2022,43(11):5140-5148.

[6]周继堂,成自勇,王 峰,等. 覆膜滴灌条件下不同水氮处理对番茄产量与品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2013,31(4):43-49.

[7]邢英英,张富仓,张 燕,等. 滴灌施肥水肥耦合对温室番茄产量、品质和水氮利用的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(4):713-726.

[8]方栋平,张富仓,李 静,等. 灌水量和滴灌施肥方式对温室黄瓜产量和品质的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(6):1735-1742.

[9]孙 磊,孙景生,刘 浩,等. 日光温室滴灌条件下番茄需水规律研究[J]. 灌溉排水学报,2008,27(2):51-54.

[10]王加蓬. 温室膜下滴灌甜瓜需水量及灌溉制度的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2009:47-49.

[11]刘 浩,段爱旺,孙景生,等. 温室滴灌条件下土壤水分亏缺对番茄产量及其形成过程的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(11):2699-2704.

[12]袁宇霞,张富仓,张 燕,等. 滴灌施肥灌水下限和施肥量对温室番茄生长、产量和生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2013,31(1):76-83.

[13]石小虎. 温室膜下滴灌番茄对水氮耦合的响应研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013:52-53.

[14]韩广泉,冯雪程,郑 群,等. 灌溉施肥技术对温室辣椒生长、产量和品质的影响[J]. 中国农学通报,2013,29(7):88-92.

[15]杜清洁,李建明,潘铜华,等. 滴灌条件下水肥耦合对番茄产量及综合品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(3):10-17.

[16]Chang J, Wu X, Liu A Q, et al. Assessment of net ecosystem services of plastic greenhouse vegetable cultivation in China[J]. Ecological Economics,2011,70(4):740-748.

[17]Kiyamaz S,Ertek A. Yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) at different water and nitrogen levels under the climatic conditions of Kırsehir,Turkey[J]. Agricultural Water Management, 2015,158:156-165.

[18]Wang H,Xiang Y Z,Zhang F C,et al. Responses of yield, quality and water-nitrogen use efficiency of greenhouse sweet pepper to different drip fertigation regimes in Northwest China[J]. Agricultural Water Management,2022,260:107279.

[19]Piri H, Naserin A. Effect of different levels of water, applied nitrogen and irrigation methods on yield, yield components and IWUE of onion[J]. Scientia Horticulturae,2020,268:109361.

[20]Wang C X,Gu F,Chen J L,et al. Assessing the response of yield and comprehensive fruit quality of tomato grown in greenhouse to deficit irrigation and nitrogen application strategies[J]. Agricultural Water Management,2015,161:9-19.

韩冰,高文瑞,孙艳军,等. 哈茨木霉菌不同接种方法对番茄种子萌发和幼苗生长生理的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):165-169.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.025

哈茨木霉菌不同接种方法对番茄种子萌发和幼苗生长生理的影响

韩冰¹,高文瑞¹,孙艳军¹,郑子松¹,张晓青¹,韩琪¹,张洪永²

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所,江苏南京 210014; 2. 江苏省徐州市农业农村综合服务中心,江苏徐州 221004)

摘要:以番茄品种千禧为试验材料,研究 6 种哈茨木霉菌接种方法对番茄种子萌发及幼苗生长和生理特性的影响。结果表明,播种时接种哈茨木霉菌会使番茄种子发芽时间延长,早期发芽率降低,幼苗发芽指数降低,但对最终发芽率影响不大;接种 400、600 倍液和 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗茎粗和叶长与 CK 相比均显著增加($P < 0.05$),而株高与 CK 相比显著降低($P < 0.05$);接种 0.05、0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗地上部和地下部干鲜重及壮苗指数与 CK 相比均显著增加($P < 0.05$);接种 0.05、0.10、0.20 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗叶片净光合速率、胞间 CO_2 浓度、气孔导度与 CK 相比均显著增加($P < 0.05$);接种 200、600 倍液和 0.10 g/株哈茨木霉菌的番茄幼苗叶片 SOD、POD、CAT 活性均显著高于 CK($P < 0.05$),而叶片 MDA 含量均显著低于 CK($P < 0.05$);其中播种时施用哈茨木霉菌 0.05 g/株的番茄幼苗叶柄长、地下部鲜重及叶片胞间 CO_2 浓度、气孔导度均显著高于其他 5 种接种方法($P < 0.05$),株高显著低于其他 5 种接种方法($P < 0.05$)。表明 6 种哈茨木霉菌接种方法对番茄幼苗生长和抗性均有不同程度的促进作用,其中以播种时施用哈茨木霉菌 0.05 g/株的促进作用最明显。

关键词:哈茨木霉菌;番茄;光合作用;抗氧化酶

中图分类号:S182;S641.201 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0165-05

我国是世界上番茄种植面积最大、产量最多的国家。2021 年,我国番茄种植面积为 111.3 万 hm^2 ,

产量为 6 609 万 t,约占世界总产量的 1/3^[1]。在番茄生产中常会因为不良环境和病虫害的影响而降低果实的品质和产量。随着生产中化学农药对生态环境及食品安全的危害加大,以及植物病害抗药性的日益增加,利用一些生物防治菌剂来防治植物病害成为了研究的热点问题。哈茨木霉菌防病机制多样,对多种病原真菌和细菌有拮抗作用^[2],对许多植物病害防治效果显著。已有研究发现,哈茨木霉菌可以有效地防治番茄白粉病、灰霉病^[3]、西瓜和黄瓜枯萎病^[4-5]、辣椒疫病^[6]等多种蔬菜病害,有效地减少化学农药的使用。研究还发现,哈茨木

收稿日期:2023-02-13

基金项目:江苏省农业科学院探索性颠覆性项目[编号:ZX(21)1206];苏北科技专项(编号:SZ-LYG202105);国家大宗蔬菜产业技术体系徐州综合试验站项目(编号:CARS-23-G48);江苏省蔬菜产业技术体系铜山综合示范基地项目(编号:JATS-2023-059)。

作者简介:韩冰(1984—),女,山东滕州人,硕士,助理研究员,主要从事设施蔬菜逆境生理研究。E-mail:hanbing372@163.com。

通信作者:郑子松,硕士,研究员,主要从事蔬菜栽培技术与推广应用。E-mail:jaaszhs@126.com。

[21] Tadesse T, Sharma P D, Ayele T. Effect of the irrigation interval and nitrogen rate on yield and yield components of onion (*Allium cepa* L.) at Arba Minch, southern Ethiopia[J]. *Advances in Agriculture*, 2022, 2022: 4655590.

[22] 张娟,马福生,杨胜利,等. 不同灌水上下限对温室白萝卜产量、品质及 WUE 的影响[J]. *节水灌溉*, 2016(4): 31-36.

[23] 张娟,郝仲勇,杨胜利,等. 不同灌水上下限对温室白萝卜生长生理特性的影响[J]. *黑龙江水利*, 2016, 2(8): 1-7, 13.

[24] 范海燕,潘兴瑶,胡秀君,等. 基于主成分分析的露地白萝卜滴灌施肥制度研究[J]. *灌溉排水学报*, 2021, 40(增刊 1): 87-93.

[25] 张贵龙,任天志,邱建军,等. 日光温室白萝卜生产系统的氮素利用与平衡研究[J]. *农业环境科学学报*, 2009, 28(7): 1500-1507.

[26] 刘社平. 氮肥对不同收获期白萝卜产量和水分利用效率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(10): 150-152.

[27] 韩佳芮,吴文婧,陈翀,等. 灌水量和施氮量对番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2020, 48(19): 145-151.

[28] 吴现兵,白美健,李益农,等. 水肥耦合对膜下滴灌甘蓝根系生长和土壤水氮分布的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(17): 110-119.