

水氮耦合对河西绿洲娃娃菜生长与生理生化指标的影响^①

陈修斌¹, 杨彬^{1*}, 钟玉凤¹, 许耀照¹, 李翊华¹, 徐学军²

(1 河西学院农业与生物技术学院, 甘肃张掖 734000; 2 兰州市农业科技研究推广中心, 兰州 730010)

摘要:以娃娃菜的品种“春宝黄”为材料, 采用双因素随机区组设计, 研究了不同水氮用量处理(水分处理: 充分灌溉 A1, 轻度亏水 A2, 中度亏水 A3; 氮肥处理: 经验施氮量 N1, 优化施氮量 N2, 零施氮量 N3)对娃娃菜生长与生理生化指标的影响。结果表明: 处理 A1N2 的娃娃菜植株, 在外叶数、球叶数、横茎、纵径、生物学产量和经济产量等形态性状指标上表现最优, 其值分别为 7.37 片、39.73 片、15.48 cm、28.92 cm、208.99 t/hm² 和 64.12 t/hm²; 同时, 叶片丙二醛(MDA)含量最低为 1.15 μmol/g; 其根系活力最强, 过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性最高, 分别为 269.8 μg/(g·h)、515 U/(g·min)和 418 U/g。各处理对娃娃菜生物学产量、经济产量、根系活力、POD 和 SOD 高低影响的大小顺序均为: A1N2>A2N2>A3N2>A1N1>A2N1>A3N1>A1N3>A2N3>A3N3。

关键词: 水氮耦合; 娃娃菜; 生长; 生理生化指标

中图分类号: S634.3 文献标识码: A

张掖市地处河西走廊中部, 属温带大陆性气候, 境内地势平坦, 光热资源充足, 年日照总时数 3 000 h 以上。黑河纵贯全市, 另有井水和河水的互补, 是传统的绿洲农业区。近年来, 随着农村产业结构的调整, 高原夏菜已成为农民增收、农业增效的主导产业, 至 2014 年, 全市高原夏菜基地面积达到 3.75 万 hm²^[1]。娃娃菜 (*Brassica pekinensis*) 是十字花科芸薹属白菜亚种的一种袖珍型小株白菜, 为张掖市种植的高原夏菜主要种类之一, 随着市场对娃娃菜需求量的增加, 其种植规模逐年扩大, 已成为西北地区娃娃菜种植的主要产区。

在娃娃菜生产中, 大多采用大水大肥管理模式, 不仅引起水氮流失严重, 土壤盐渍化发生, 而且也导致娃娃菜产量和品质下降, 已成为影响蔬菜产业和土壤实现高效可持续利用的障碍。在农作物生产中, 土壤中水分和氮素是影响植株生长和干物质积累的最主要因素之一^[2], 土壤中水分及氮素含量的变化会直接影响植株的生长与发育^[3-6], 从而对作物的产量及品质造成影响^[7-9]。有关在河西绿洲生态气候环境下, 不同水氮条件对娃娃菜生长与生理生化指标的研究缺少系统报道。本研究在不同灌水、施氮条件下, 探

讨土壤不同水氮用量对娃娃菜生长指标与生理生化指标变化之间的关系, 以期在娃娃菜生产管理中实现水肥科学调控和节水节肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2016 年 3—7 月在张掖市甘州区梁家墩镇高原夏菜生产基地内进行。供试土壤为灌漠土, 0~20 cm 耕层有机质含量为 7.86 g/kg, 碱解氮 53.26 mg/kg, 有效磷 8.73 mg/kg, 速效钾 146.16 mg/kg, pH 为 7.18, 全盐 1.21 g/kg, 容重 1.36 g/cm³, 阳离子交换量(CEC)为 14.65 cmol/kg, 质地砂壤。

1.2 试验设计

采用双因素随机区组设计^[10], A 因素为水分处理, 设 3 个水平, A1: 充分灌溉为 65%~75%(占田间持水量百分比); A2: 轻度亏水为 55%~65%; A3: 中度亏水为 45%~55%。B 因素为施氮肥处理, 设 3 个水平, N1: 经验施氮量(N 450 kg/hm²), 依据调查张掖市的甘州区、高台、临泽等县区的 5 个娃娃菜生产基地的氮肥用量确定; N2: 优化施氮量(N 300 kg/hm²), 依据 $N = Nm - Nn - Ni$ ^[11]确定, 式中, N 表示追施氮量(kg/hm²),

基金项目: 国家级大学生创新创业训练计划项目(201510740001), 甘肃省高校协同创新科技团队支持计划资助项目(2017C-18)和甘肃省科技支撑计划—农业类项目(144NKCA241)资助。

* 通讯作者(745713105@qq.com)

作者简介: 陈修斌(1968—), 男, 河南邓州人, 硕士, 教授, 主要从事园艺植物栽培方面的研究。E-mail: chenxiubin2003@163.com

N_m 表示氮素供应目标值(kg/hm^2), N_n 表示(0~20 cm) 土层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量(kg/hm^2), N_i 表示灌溉水带入氮量 (kg/hm^2); N_3 : 零施氮量($0 \text{ kg}/\text{hm}^2$)^[12-13], 共 9 个处理, 3 次重复(表 1)。

表 1 水氮处理模式
Table 1 Model of water and nitrogen treatment

处理	水分(%)	氮肥(kg/hm^2)
A1N1	65~75	450
A1N2	65~75	300
A1N3	65~75	0
A2N1	55~65	450
A2N2	55~65	300
A2N3	55~65	0
A3N1	45~55	450
A3N2	45~55	300
A3N3	45~55	0

1.3 试验种植

供试的娃娃菜品种为春宝黄,由北京中农绿亨种子科技有限公司提供。于 2016 年 3 月 15 日采用日光温室育苗,4 月 25 日定植,株距 25 cm,行距 45 cm,畦高 15~20 cm,每畦长 8 m,宽 0.8 m,每畦栽植 2 行,每公顷定植 88 935 株,采用高畦膜下滴灌技术,不同小区间深埋 40 cm 地膜,小区面积为 6.4 m^2 。试验前各处理一次性施入硫酸钾(含 K_2O 51 g/kg) 270 kg/hm^2 ,过磷酸钙 675 kg/hm^2 。氮肥由尿素(含氮 46 g/kg)提供,由山东华鲁恒升化工股份有限公司生产,各处理氮肥按其用量的不同在娃娃菜的莲座前期、中期和末期等量随滴灌施入,试验中,水分的控制参考韦泽秀等^[14]介绍的方法进行。

1.4 测定项目

1.4.1 形态指标测定 于收获时,每个重复各随机选取 3 株,各处理计 9 株,分别统计单株叶数、纵径、横茎、生物学产量和经济产量等性状。叶数是指总叶数,分别统计外叶数(含幼苗叶、莲座叶)和球叶数;叶球的横径和纵径用游标卡尺测定;生物学产量的测定方法是在取样植株一侧,挖深为 40 cm、宽 30 cm 的沟,把地上部叶球连同根系一同挖出,用塑料袋包扎带回实验室,将根部泥土冲洗干净后,用吸水纸将根上的水分擦干净,用天平称取整个植株的重量;经济产量的统计方法,用刀沿短缩茎距茎盘 1/3 处切开叶球与地下部分,按市场的要求,剥去叶球的莲座叶和外层球叶后用天平称量。

1.4.2 生理生化指标测定 于收获时,各处理随机选取 3 株,根系活力的测定采用氯化三苯基四氮唑

(TTC)法,根样切取主根顶端部位,以 TTC 还原强度表示根系活力^[15]。参照李合生^[16]的方法测定生化指标,丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法;超氧化物歧化酶(SOD)活性测定采用氮蓝四唑(NBT)法,以抑制 NBT 光化学还原的 50% 的酶量为 1 个酶活性单位;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚氧化法,以每分钟 OD_{470} 变化 0.1 为 1 个酶活单位;MDA、SOD 和 POD 等指标的测定部位是叶片,方法是选用剥去莲座叶和外层球叶后的叶球,所有参试样品,均以自外向里的第三片叶进行取样。

1.4.3 产量指标测定 于收获期,按不同处理统计汇总经济产量,最后折合成每公顷产量。

1.5 数据分析

采用 DPS 9.50 和 Microsoft Excel 2003 软件进行数据计算与分析,采用 Duncan's 法进行差异显著性分析,显著性水平设置为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同处理对娃娃菜形态指标与产量的影响

从表 1 可以看出,在充分灌溉条件下,当采用优化施氮量时,其组成的水氮组合 A1N2,娃娃菜在外叶数、球叶数、横茎、纵径、生物学产量和经济产量等性状指标上显著高于其他处理,分别为 7.37 片、39.73 片、15.48 cm、28.92 cm、208.99 t/hm^2 和 64.12 t/hm^2 。由优化施氮量组成的水氮组合 A1N2、A2N2 和 A3N2 处理,其产量高于由经验施氮量组成的水氮组合 A1N1、A2N1 和 A3N1 处理;而由经验施氮量组成的水氮组合又高于由零施氮量组成的水氮组合 A1N3、A2N3 和 A3N3 处理,处理之间呈现不同程度差异。各处理对生物学产量和经济产量影响的大小顺序为 A1N2>A2N2>A3N2>A1N1>A2N1>A3N1>A1N3>A2N3>A3N3。

从水分、氮肥及其交互作用对娃娃菜叶片数、横茎、纵径、生物学产量和经济产量影响的双因子方差分析来看,水分对娃娃菜叶片外叶数、球叶数、横茎和纵径的影响呈现极显著或显著差异,而对生物学产量和经济产量影响不显著;氮肥对生物学产量和经济产量影响呈显著差异水平;水氮耦合效应对生物学产量和经济产量影响较大,对外叶数、球叶数、横茎和纵径影响不显著(表 1)。说明水肥耦合表现较强互作效应,成为影响娃娃菜产量形成的主导因子。

2.2 不同处理对娃娃菜根系活力和 MDA 含量影响

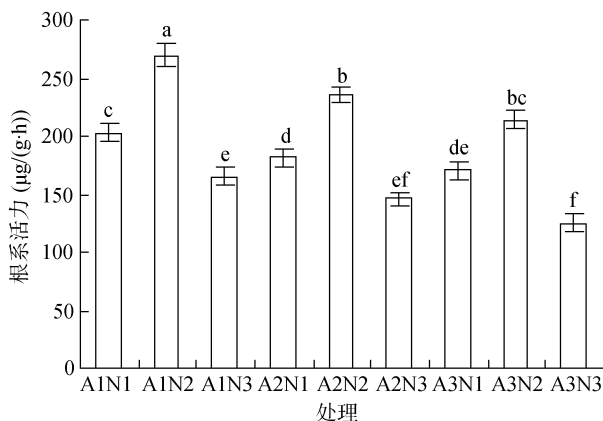
由图 1 可以看出,在不同灌溉条件下,采用优化施氮量时,其组成的水氮组合 A1N2、A2N2、A3N2,

表 1 不同处理对娃娃菜形态指标与产量的影响
Table 1 Effects of different treatments on morphological indexes and yields of Chinese cabbage

处理	外叶数(片)	球叶数(片)	横茎(cm)	纵径(cm)	生物学产量(t/hm ²)	经济产量(t/hm ²)
A1N1	6.37 ± 0.98 bc	33.26 ± 1.17 cd	12.76 ± 1.23 bc	26.78 ± 1.12 cd	174.31 ± 0.118 bc	53.45 ± 0.58 bc
A1N2	7.37 ± 1.32 a	39.73 ± 2.15 a	15.48 ± 1.86 a	28.92 ± 2.03 a	208.99 ± 0.121 a	64.12 ± 0.46 a
A1N3	5.15 ± 0.85 cd	32.32 ± 2.26 e	12.31 ± 1.21 d	27.17 ± 2.15 de	128.07 ± 0.218 d	38.69 ± 0.51 d
A2N1	6.63 ± 0.73 b	25.18 ± 1.85 d	15.16 ± 0.76 cd	26.76 ± 1.06 cd	164.53 ± 0.243 c	46.42 ± 0.38 c
A2N2	7.21 ± 0.68 ab	38.76 ± 1.72 b	13.46 ± 0.53 ab	25.82 ± 1.35 ab	196.55 ± 0.79 ab	61.45 ± 0.43 ab
A2N3	5.12 ± 0.76 de	31.28 ± 1.43 e	11.26 ± 1.82 de	24.53 ± 1.96 d	122.73 ± 0.54 de	36.73 ± 0.37 de
A3N1	6.08 ± 0.87 c	29.85 ± 1.25 de	12.37 ± 1.42 c	25.92 ± 1.83 de	152.08 ± 0.81 cd	44.56 ± 0.23 cd
A3N2	6.36 ± 1.14 bc	36.65 ± 1.82 c	11.32 ± 0.58 b	27.32 ± 1.36 ab	180.54 ± 0.78 b	58.07 ± 0.31 b
A3N3	5.07 ± 0.96 e	30.23 ± 2.03 e	11.27 ± 1.65 de	23.45 ± 1.15 f	111.17 ± 0.98 e	31.31 ± 0.16 e
水分	18*	20.68**	9.47*	7.88*	5.74	4.65
氮肥	12	15.83	9.79	4.62	26.48*	21.36*
水分×氮肥	9	10.53	8.65	6.79	31.52**	26.47**

注：同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，* 表示达到 $P < 0.05$ 显著水平，** 表示达到 $P < 0.01$ 显著水平，下同。

其娃娃菜根系活力明显高于其他处理，不同处理之间呈现一定程度差异，尤其是以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2，娃娃菜根系活力最高，其值为 269.8 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。而采用充分灌溉、轻度亏水、中度亏水的灌水量分别与零施氮量构成的水氮处理 A1N3、A2N3、A3N3，其根系活力普遍较低，以采用中度亏水和零施氮量的处理 A3N3，其根系活力最低，其值为 125.4 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ 。从图 2 可知，以采用中度亏水和零施氮量的处理 A3N3，娃娃菜叶片 MDA 含量最高，为 2.99 $\mu\text{mol}/\text{g}$ ，以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2，娃娃菜叶片 MDA 含量最低，其值为 1.15 $\mu\text{mol}/\text{g}$ ，不同处理之间呈现显著差异。



(图中小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下同)

图 1 不同处理对娃娃菜根系活力的影响
Fig. 1 Root activities of cabbage under different treatments

2.3 不同处理对娃娃菜 POD 和 SOD 活性影响

从图 3 可以看出，处理 A1N2、A2N2、A3N2 组成的水氮组合，其 POD 活性明显高于其他处理，以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2，娃娃菜叶片 POD 活性最高，其值为 515 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ ；处理 A1N3、A2N3、A3N3 的娃娃菜叶片 POD 活性较低，尤其是采用中度亏水和零施氮量的处理 A3N3，其 POD 活性最低，其值为 336 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ ；各处理 POD 活性大小顺序为 $\text{A1N2} > \text{A2N2} > \text{A3N2} > \text{A1N1} > \text{A2N1} > \text{A3N1} > \text{A1N3} > \text{A2N3} > \text{A3N3}$ 。由图 4 可以看出，以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2，娃娃菜叶片 SOD 活性最高，其值为 418 U/g ；以采用中度亏

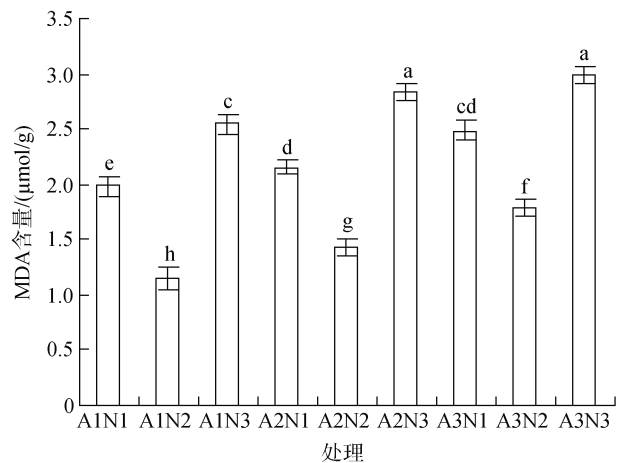


图 2 不同处理对娃娃菜 MDA 含量的影响
Fig. 2 MDA contents of cabbage under different treatments

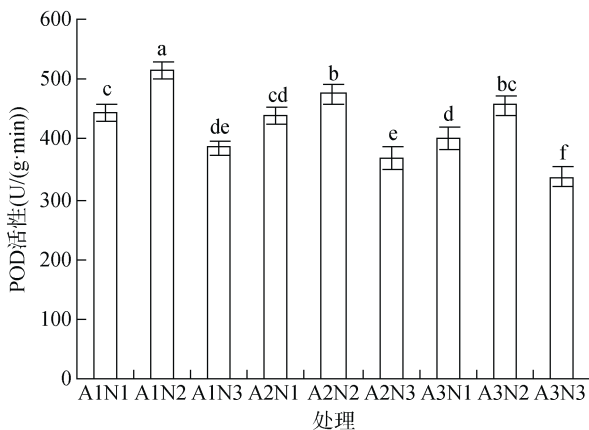


图 3 不同处理对娃娃菜叶片 POD 活性的影响

Fig. 3 POD activities in cabbage leaves under different treatments

水和零施氮量的处理 A3N3, 其 SOD 活性最低, 其值为 232 U/g; 各处理娃娃菜叶片 SOD 的活性呈现一定差异, 其大小的变化规律与 POD 变化相似。

3 讨论

根系活力大小一定程度上反映了植株吸收养分能力的强弱。一般情况下, 根系活力越高, 吸收养分的能力越强^[17]。本试验中, 以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2, 娃娃菜根系活力最高, 这表明处理 A1N2 水氮组合, 水分和氮肥的耦合作用呈现协同效应, 而其他处理水氮配比失衡, 影响了娃娃菜对养分与水分的吸收, 导致根系活力降低^[18]。丙二醛(MDA)是膜质过氧化的最终产物, 其含量大小可以反映植物遭受逆境伤害的程度, 含量越高表明受伤程度越大^[19]。试验中以水氮组合 A1N2 组成的处理, 娃娃菜叶片 MDA 含量最低, 说明娃娃菜的细胞膜脂过氧化程度低, 受伤害小, 抗逆性强, 这可能是由于不同水氮用量不同, 从而导致水氮配比不平衡, 水分和氮肥的耦合作用呈现拮抗作用所致^[20-21]。过氧化物酶(POD)是细胞膜系统的保护酶, 当植物生长在受到不良环境条件影响时, 对保持体内代谢平衡起着重要的作用^[22]。从试验结果看, 各处理 POD 活性大小不同, 主要由于水氮用量的不同, 导致土壤环境中的离子浓度含量也不尽相同, 土壤在水氮用量亏水或过多的条件下, 使土壤产生了胁迫环境, 从而反映在植株体叶片上, 表现出的 POD 活性强弱的差异。超氧化物歧化酶(SOD)能清除活性氧自由基, 保护细胞膜系统, 其活性大小可以反映细胞对盐害逆境的适应能力^[23], 在正常条件下, 植物体内活性氧的产生和清除维持一定的动态平衡, 受细胞代谢的调节^[24]。本试验中, 由不同水氮用量构成了不同的土壤环境, 采用充分灌溉、轻度亏水、中度亏水的灌水量分别与

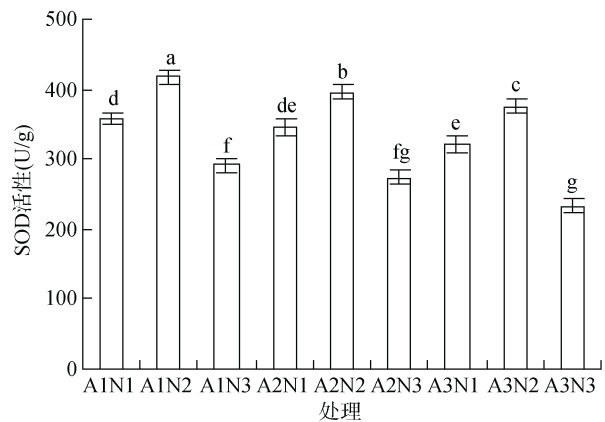


图 4 不同处理对娃娃菜叶片 SOD 活性的影响

Fig. 4 SOD activities in cabbage leaves under different treatments

零施氮量构成的水氮处理 A1N3、A2N3、A3N3 以及充分灌溉、轻度亏水、中度亏水的灌水量分别与经验氮量构成的水氮处理 A1N1、A2N1、A3N1, 其组成的土壤溶液产生了一定的胁迫环境, 以处理 A3N3 的娃娃菜叶片 MDA 含量最高; 处理 A1N2 娃娃菜叶片 MDA 含量最低, 根系活力、POD 和 SOD 活性最强, 这主要是由于当植物受到逆境胁迫时, 植物体内活性氧产生与抗氧化保护系统之间的平衡将被打破, 从而导致植物细胞内活性氧物质大量积累, 干扰细胞代谢, 破坏细胞膜的功能^[25]。同时也表明: 处理 A3N3 构成的土壤溶液产生较严重的环境胁迫, 而处理 A1N2 组成的水氮溶液环境最适宜于娃娃菜生长。

氮素是植物蛋白质、氨基酸、叶绿素和次生代谢物质的基本组成元素, 水是肥效发挥的关键, 水分和养分对作物生长的作用并不是孤立的, 而是相互作用相互影响^[26], 合理水氮管理是实现产量提高、协同资源高效利用的重要途径。本试验中, 以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合 A1N2, 其生物学产量与经济产量最高, 说明本处理的水氮用量最适宜于娃娃菜生长过程中对水分和氮素营养的需求, 其他处理由于水、氮配比失衡, 影响了娃娃菜对水、氮的吸收与利用, 只有合理的水肥配比, 才能达到“以肥调水、以水促肥”, 促进作物增产的效果^[27]。

4 结论

本试验条件下, 探讨了不同水氮用量组合(水分处理: 充分灌溉 A1, 轻度亏水 A2, 中度亏水 A3; 氮肥处理: 经验施氮量 N1, 优化施氮量 N2, 零施氮量 N3)对娃娃菜生长及生理生化指标的影响, 结果表明: 以充分灌溉和优化施氮量组成的水氮组合处理

A1N2 的娃娃菜植株，在叶片数、横茎、纵径、生物学产量和经济产量等形态性状指标上表现最优，其值分别为 39.73 片、15.48 cm、28.92 cm、208.99 t/hm² 和 64.12 t/hm²；同时，其根系活力最强，叶片内丙二醛(MDA)含量最低，过氧化物酶(POD)和超氧化物歧化酶(SOD)的活性最高。各处理对娃娃菜生物学产量、经济产量、根系活力、POD 和 SOD 高低影响的大小顺序均为：A1N2>A2N2>A3N2>A1N1>A2N1>A3N1>A1N3>A2N3>A3N3。

参考文献：

- [1] 吴子孝, 陈修斌, 许耀照, 等. 水肥耦合对河西绿洲娃娃菜生理特性及产量影响[J]. 土壤与作物, 2016, 5(3): 135-140
- [2] 李银坤, 武雪萍, 吴会军, 等. 水氮条件对温室黄瓜光合日变化及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(增刊 1): 122-129
- [3] 焦娟玉, 尹春英, 陈珂. 土壤水、氮供应对麻疯树幼苗光合特性的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 91-99
- [4] 徐俊增, 彭世彰, 魏征, 等. 不同供氮水平及水分调控条件下水稻光合作用光响应特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 72-76
- [5] Papastylianou I. Yield components in relation to grain yield losses of barley fertilized with nitrogen[J]. European Journal of Agronomy, 1995, 4(1): 55-63
- [6] 张文元, 郭晓敏, 涂淑萍, 等. 水肥对高产无性系油茶果实产量的影响[J]. 土壤学报, 2015, 52(4): 768-775
- [7] Guerin V, Huche-Thelier L, Charpentier S. Mobilisation of nutrients and transport via the xylem sap in a shrub (*ligustrum ovalifolium*) during spring growth N and C compounds and interactions[J]. Journal of Plant Physiology, 2007, 164(5): 562-573
- [8] 孔东, 晏云, 段艳, 等. 不同水氮处理对冬小麦生长及产量影响的田间试验[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 36-40
- [9] 张林, 徐富贤, 熊洪, 等. 水氮管理对优质杂交中稻旌优 127 产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2017, 49(4): 679-684
- [10] 陈修斌, 李翊华, 许耀照, 等. 温室番茄对水肥耦合的光合特性及叶绿素荧光参数响应[J]. 土壤通报, 2015, 46(3): 519-525
- [11] 郭艳红, 张凯, 陈延昭, 等. 水氮耦合对黑河中游加工番茄产量和品质的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2014, 49(1): 65-69
- [12] 杨彬, 陈修斌, 钟玉凤, 等. 水氮互作对黑河中游娃娃菜光合特性与水氮利用的影响[J]. 土壤通报, 2017, 48(1): 162-168
- [13] 高丽, 李红岭, 王铁臣, 等. 水氮耦合对日光温室黄瓜根系生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(8): 58-64
- [14] 韦泽秀, 梁银丽, 周茂娟, 等. 水肥组合对日光温室黄瓜叶片生长和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(3): 69-74
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 67-85
- [16] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [17] 吴紫薇, 李强, 豆攀, 等. 低氮胁迫对不同耐低氮玉米品种苗期伤流液性状及根系活力的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(2): 278-288
- [18] Cabello M J, Castellanos M T, Romojaro F, et al. Yield and quality of melon grown under different irrigation and nitrogen rates[J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(5): 866-874
- [19] 王耀晶, 王厚鑫, 刘鸣达. 盐胁迫下硅对草地早熟禾生理特性的影响[J]. 中国草地学报, 2012(6): 13-17
- [20] Wolfe D W, Henderson D W, Hsiao T C, et al. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. leaf area duration, nitrogen distribution, and yield[J]. American Society of Agronomy, 1988, 80: 859-864
- [21] Bennett J M, Mutti L S M, Rao P S C. Interactive effects of nitrogen and water stresses on biomass accumulation, nitrogen uptake, and seed yield of maize[J]. Field Crops Research, 1989, 19(4): 297-311
- [22] 郑飞雪, 魏民, 牟同水. NaCl 胁迫对羽衣甘蓝生理生化指标的影响[J]. 北方园艺, 2010(17): 42-44
- [23] 顾华杰, 叶亚新, 金璿, 等. La-(3+)对低温胁迫冬小麦幼苗抗氧化酶活性的影响[J]. 安徽农业科学, 2009(21): 9914-9916, 9960
- [24] 高青海, 王亚坤, 陆晓民, 等. 硅对铵态氮胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 25(5): 1395-1400
- [25] Li X H, Mehta S K, Liu Z P. Effect of NO₃⁻-N enrichment on seawater stress tolerance of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus*) [J]. Pedosphere, 2008, 18: 113-123
- [26] 汪德水. 旱地农田肥水关系原理与调控技术[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1995: 195-203
- [27] 杜少平, 马忠明, 薛亮, 等. 旱砂田补灌水氮互作对西瓜产量、品质及水氮利用的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12): 3715-3722

Effects of Water and Nitrogen Coupling on Growth and Physiological and Biochemical Indexes of Baby Cabbage in Hexi Oasis

CHEN Xiubin¹, YANG Bin^{1*}, ZHONG Yufeng¹, XU Yaozhao¹, LI Yihua¹, XU Xuejun²

(1 School of Agriculture and Biotechnology, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China; 2 Agricultural Science and Technology Research Extension Center of Lanzhou, Lanzhou 730010, China)

Abstract: Using the variety “Chunbao Huang” of baby Chinese cabbage as material, the effects of different water and nitrogen treatments on the growth and physiological and biochemical indexes of cabbage were studied. The results showed that the cabbage under A1N2 treatment was the best in the morphological traits including number of outer leaves, number of leaflets, transverse stem, vertical diameter, biological yield and economic yield, and the values were 7.37, 39.73, 15.48 cm, 28.92 cm and 208.99 t/hm² and 64.12 t/hm², respectively. At the same time, the content of MDA in the leaves was 1.15 μmol/g, the root activity was the strongest, the activities of peroxidase (POD) and superoxide dismutase (SOD) were the highest, 269.8 μg/(g·h), 515 U/(g·min) and 418 U/g, respectively. The effects of the treatments on biological yield, economic yield, root activity, POD and SOD were in the order of A1N2> A2N2> A3N2> A1N1> A2N1> A3N1> A1N3> A2N3> A3N3

Key words: Water nitrogen coupling; Baby cabbage; Growth; Physiological biochemical index