

doi: 10.11838/sfsc.20160414

水氮联合调控对小油菜生长、产量及品质的影响

高娜¹, 张玉龙¹, 曲晶¹, 张鹏¹, 张玉玲¹, 邹洪涛¹, 项国栋², 虞娜^{1*}

(1. 沈阳农业大学土地与环境学院, 发改委土肥资源高效利用国家工程实验室,

农业部东北耕地保育重点实验室, 辽宁 沈阳 110866;

2. 沈阳城市公用集团农业发展有限公司, 辽宁 沈阳 110308)

摘要: 采用温室盆栽试验, 研究了水氮联合调控对小油菜生长、产量及品质的影响。结果表明, 灌水水平与施氮量对叶片数、叶面积、叶绿素与产量均有显著或极显著影响, 这些指标均随灌水水平的提高而增加, 随施氮量的增加呈抛物线趋势, 在低氮 ($0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与中氮处理 ($0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 达到最大, 且差异不显著。中水高氮 (田间持水量的 75%, $0.3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 耦合能显著提高小油菜 Vc 含量; 灌水、施氮及其交互作用对可溶性糖与硝酸盐含量影响极显著; 增加灌水能减轻高量氮肥对小油菜可溶性糖合成的抑制作用; 不施氮处理硝酸盐含量均极显著低于施氮处理, 高水低氮 (田间持水量的 90%, $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 与中水 (田间持水量的 75%) 下的各个施氮处理硝酸盐含量较低。降低施氮量, 适当增加灌水能增加 Vc、可溶性糖含量, 降低硝酸盐积累。综合考虑小油菜生长、产量及品质, 中水低氮 (田间持水量的 75%, $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 为最佳水氮处理。

关键词: 小油菜; 生长指标; 产量; 水氮耦合; 品质

中图分类号: S634.3; S365

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2016) 04-0084-06

我国设施蔬菜面积和产量居世界第一位^[1-2], 蔬菜生产已经成为我国经济发展的重要组成部分。设施蔬菜生产“粪大水勤, 不用问人”的传统管理模式, 导致水氮资源浪费^[3], 蔬菜品质下降^[4]。水分和氮素是影响作物生长、产量及品质的重要因子, 在蔬菜上已有较多研究, 并取得一定成果。研究表明, 在一定范围内增施氮肥能增加蔬菜产量, 但超过阈值产量反而降低^[5-6]; 一般认为, 产量与灌水量线性正相关^[7-8], 也有研究表明, 产量随灌水量的增加呈先增加后降低的抛物线趋势^[9]。合理减少施氮、灌水量能使黄瓜保持良好的生长特性^[10], 提高品质^[8]。灌水与施肥量对番茄产量、品质存在耦合效应^[11], 番茄 Vc 含量与施氮量无关, 随灌水量增加呈开口向下的抛物线型变化, 灌水量与施氮量间的负交互作用显著^[12]; 适当的水

分胁迫利于可溶性糖含量的增加, 而施氮对其影响不显著^[13]。张玲等^[14]研究表明, 施钾量一定, 油菜可溶性糖与 Vc 含量均随施氮量增加而降低。周亚婷等^[4]关于不同水肥供应对结球甘蓝的研究表明, 适当减少灌水量能提高甘蓝 Vc 与可溶性糖含量, 降低硝酸盐积累; 增施氮肥会增加硝酸盐含量。甘蓝生物量及各个生育期硝酸盐含量具有显著的水氮交互作用^[15]。

水氮耦合效应 (交互作用) 的研究多集中于茄果类蔬菜, 对叶菜类的研究较少, 叶菜类蔬菜生长、产量及品质的水氮耦合理论尚不明确。同时, 叶菜较茄果类蔬菜更易积累硝酸盐^[16], 在食品安全问题频发的背景下, 其营养、卫生品质日益受到人们重视。因此, 本试验以“青帮油菜”为试材, 采用温室盆栽试验研究水氮联合调控对小油菜生长、产量及品质的影响, 以为设施小油菜栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2014 年 9 月在沈阳农业大学试验基地的日光温室内进行。选用上部内径 24 cm, 底部内径 18

收稿日期: 2015-06-03; 最后修订日期: 2015-08-25

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41401322, 41501306); 国家科技支撑计划 (2015BAD23B01); 农业部东北耕地保育重点实验室开放基金课题 (2015NYBKFT-01)。

作者简介: 高娜 (1988-), 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事土壤改良与农业节水。E-mail: 807844798@qq.com。

通讯作者: 虞娜, E-mail: sausoilyn@163.com。

cm, 高 17 cm 的盆钵进行土培试验, 每盆装过 3 mm 筛的风干土 4 kg。供试土壤为棕壤, 有机质 19.02 g · kg⁻¹, pH 值 5.95, 全氮 0.97 g · kg⁻¹, 全磷 (P) 0.41 g · kg⁻¹, 全钾 (K) 22.24 g · kg⁻¹, 碱解氮 83.07 mg · kg⁻¹, 有效磷 (P) 5.23 mg · kg⁻¹, 速效钾 (K) 80.36 mg · kg⁻¹, 田间持水量为 30.5%。供试油菜为“青帮油菜”。

1.2 试验设计及管理

试验采用 3 个灌水水平 (低水 W1、中水 W2 和高水 W3) 和 4 个施氮量 (无氮 N0、低氮 N1、中氮 N2、高氮 N3) 的完全随机设计, 共 12 个处理 (表 1), 3 次重复。各处理磷、钾肥用量相同, 与土壤混合均匀后做基肥施入, 磷为 (P₂O₅) 0.2 g · kg⁻¹, 钾 (K₂O) 为 0.3 g · kg⁻¹。试验所用氮肥为尿素, 溶解后以水溶液形式均匀施入土壤。油菜于 9 月 10 日播种, 9 月 14 日出苗, 出苗后及时疏苗, 长出真叶后每盆留苗 8 株。用称重法控制相对含水量, 每天调节水分一次。

表 1 试验方案设计

处理	氮肥用量 (N g · kg ⁻¹)	灌水上限 (田间持水量的%)
W1N0	0	60
W1N1	0.1	60
W1N2	0.2	60
W1N3	0.3	60
W2N0	0	75
W2N1	0.1	75
W2N2	0.2	75
W2N3	0.3	75
W3N0	0	90
W3N1	0.1	90
W3N2	0.2	90
W3N3	0.3	90

1.3 测定项目与方法

分别于小油菜 4 叶与 6 叶期采收油菜 3 棵和 5 棵。采下的植株立即将根茎、叶片分开装入自封袋, 带回实验室用清水洗净后用蒸馏水润洗 2 次, 迅速用纱布擦干, 以盆为单位迅速称重计产, 产量为两次采收总鲜重。

小油菜最终收获后测定小油菜叶片的品质指标。Vc 采用 2, 6-二氯酚靛酚滴定法测定, 可溶性糖采用蒽酮比色法测定, 硝酸盐采用水杨酸法测

定^[17]; 叶片数以展开面积达到完全展开叶的 1/3 以上叶片为准进行统计; 叶面积采用 AM-100 型叶面积仪测定; 用便携式叶绿素仪 (Minolta SPAD-502) 测定主茎倒 3 叶叶绿素 SPAD 值。

1.4 数据处理

采用 SPSS 21 统计软件进行完全随机双因素方差分析, Duncan 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 水氮联合调控对小油菜生长的影响

不同水氮处理小油菜生长指标与产量 (鲜重) 的统计分析结果见表 2。方差分析表明, 灌水水平和施氮量单一因素对小油菜叶片数有显著影响, 而对叶面积有极显著影响。施氮量单一因素下, 叶片数与叶面积随施氮量的增加均呈先增加后降低的抛物线变化, N1、N2、N3 施氮量 (Ni 为 W1Ni、W2Ni、W3Ni 的均值, 施氮量单一因素下, 如未明确指出具体灌水水平, 对施氮量的比较则为均值的比较; 下同) 两个指标分别比不施氮处理 (N0) 增加了 6.27%、6.27%、2.33% 和 28.91%、29.89%、10.54%。灌水水平单一因素下, 叶片数与叶面积均随灌水水平的提高而增大, 各灌水水平叶面积差异达极显著水平, 而 W3 (Wj 为 WjN0、WjN1、WjN2、WjN3 的均值; 下同) 与 W2 灌水水平叶片数差异不显著, 均显著高于 W1。方差分析表明, 施氮量与灌水水平对油菜根茎与叶片生物量之比影响极显著, 且水氮耦合效应显著。灌水水平单一因素下, 油菜根茎与叶片生物量之比随灌水水平的提高逐渐降低, W3 分别与 W2、W1 差异达显著和极显著水平, 而 W2 与 W1 差异不显著。施氮量单一因素下, 与不施氮肥相比, 施用氮肥能够极显著降低小油菜根茎与叶片生物量之比 ($P < 0.01$); 不同施氮量间仅 N2、N3 施氮量差异达显著水平。在水氮交互作用下, W1N0 组合根茎与叶片生物量之比最大为 0.139, 其次为 W2N0 和 W3N0, W3N3 组合最小, 仅为 0.084。

2.2 水氮联合调控对小油菜叶绿素含量 (SPAD) 的影响

水氮联合调控对小油菜叶绿素含量的影响见图 1。方差分析表明, 灌水水平与施氮量单一因素对小油菜叶绿素含量有极显著影响, 而水氮耦合效应不显著。叶绿素含量随灌水水平的提高而增加, 高水 (W3) 与中水 (W2) 差异不显著。除 W3 灌水水平下施氮量对小油菜叶绿素含量影响不显著外,

其他两个灌水水平下叶绿素含量随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。W1N0 处理叶绿素 SPAD 值最小，为 42.66，显著小于其他处理，即水分与氮素胁迫可能会阻碍叶绿素的合成。

表 2 不同水氮处理对油菜生长指标与产量（鲜重）的影响

处理		单株叶片数（片）	单株叶面积（cm ² ）	根茎与叶片生物量之比	产量（g·盆 ⁻¹ ）
W1	N0	5.27 ± 0.67	97.01 ± 1.60	0.139 ± 0.044 aA	40.92 ± 0.93
	N1	5.80 ± 0.74	152.15 ± 1.45	0.090 ± 0.062 deC	57.67 ± 1.29
	N2	5.67 ± 0.61	144.56 ± 1.64	0.099 ± 0.057 cdBC	53.85 ± 1.08
	N3	5.67 ± 0.49	124.42 ± 1.74	0.088 ± 0.062 deC	42.84 ± 1.47
W2	N0	5.67 ± 0.61	127.31 ± 1.69	0.115 ± 0.104 bB	54.72 ± 1.68
	N1	6.13 ± 0.67	166.82 ± 1.63	0.097 ± 0.021 cdeBC	69.50 ± 1.92
	N2	6.00 ± 0.49	178.01 ± 1.64	0.099 ± 0.101 cdBC	69.30 ± 1.76
	N3	5.60 ± 0.58	144.23 ± 1.82	0.085 ± 0.044 eC	63.45 ± 2.27
W3	N0	5.80 ± 0.49	164.44 ± 1.71	0.109 ± 0.057 bcB	65.36 ± 1.98
	N1	5.87 ± 0.80	182.19 ± 1.91	0.085 ± 0.081 eC	73.30 ± 2.05
	N2	6.13 ± 0.61	182.43 ± 1.83	0.090 ± 0.071 deC	74.06 ± 1.43
	N3	5.87 ± 0.61	161.11 ± 1.59	0.084 ± 0.021 eC	49.21 ± 2.35
单一因素平均值					
灌水水平	W1	5.60 ± 0.91 bA	129.54 ± 1.15 cC	0.104 ± 0.622 aA	48.82 ± 1.18 bB
	W2	5.85 ± 0.90 aA	154.09 ± 1.15 bB	0.099 ± 0.581 aAB	64.25 ± 1.20 aA
	W3	5.92 ± 0.90 aA	172.54 ± 1.15 aA	0.092 ± 0.572 bB	65.48 ± 1.24 aA
施氮量	N0	5.58 ± 0.88 bA	129.59 ± 1.22 bB	0.121 ± 0.497 aA	53.66 ± 1.31 bB
	N1	5.93 ± 0.90 aA	167.05 ± 1.18 aA	0.091 ± 0.432 bcB	66.84 ± 1.28 aA
	N2	5.93 ± 0.86 aA	168.33 ± 1.21 aA	0.096 ± 0.435 bB	65.74 ± 1.29 aA
	N3	5.71 ± 0.84 abA	143.25 ± 1.21 bB	0.086 ± 0.375 cB	51.83 ± 1.33 bB
F 检验显著性（P）					
灌水水平		0.020 *	0.000 **	0.004 **	0.000 **
施氮量		0.022 *	0.000 **	0.000 **	0.000 **
灌水水平 × 施氮量		0.436 ^{ns}	0.469 ^{ns}	0.027 *	0.105 ^{ns}

注：同列不同大、小写字母分别表示 0.01、0.05 水平时差异显著；* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著，ns 表示在 0.05 水平下差异不显著。下同。

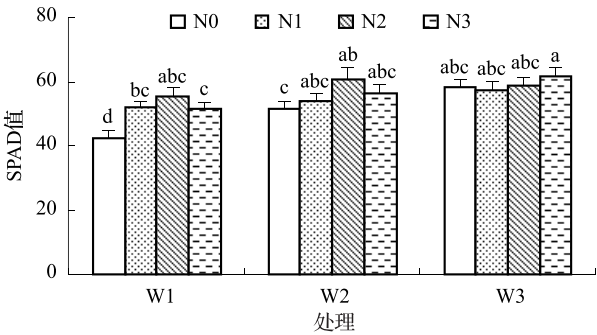


图 1 不同水氮处理对小油菜叶绿素含量的影响

注：柱上不同小写字母表示处理间差异显著（P<0.05）。

2.3 水氮联合调控对小油菜产量的影响

经方差分析可知，灌水水平与施氮量对小油菜产量的影响均达到极显著水平，而水氮交互作用不显著（表 2）。灌水水平单一因素下，小油菜

产量随灌水水平的提高而增加，W3 与 W2 差异不显著；施氮量单一因素下，小油菜产量随施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。在 W1、W2 灌水水平下，小油菜产量在 N1 施氮量达到最大；在 W3 灌水水平下，N2 施氮量小油菜产量最大。W1N0 组合产量最小，W2N1、W2N2、W3N1、W3N2 组合产量最大，且差异不显著，分别比 W1N0 组合增加了 69.94%、69.35%、79.13%、80.99%。由此可见，适当增加灌水、施用适量氮肥能提高小油菜产量。

2.4 水氮联合调控对小油菜品质的影响

表 3 为不同水氮处理对小油菜 Vc、可溶性糖、硝酸盐含量的影响。统计表明，灌水水平与施氮量单因素对小油菜 Vc 含量均无显著影响，而水氮交互作用极显著（P<0.01）。在 W1、W3 灌水水平

下, Vc 含量随施氮量的增加呈降低的趋势; 中水高氮 (W2N3) 耦合能显著提高小油菜 Vc 含量。

方差分析表明, 水分、施氮及水氮互作对小油菜可溶性糖含量的影响均达到极显著水平, 表现为施氮量 > 灌水水平 > 水氮交互作用。灌水水平单一因素下, 可溶性糖含量随灌水水平的提高而增加,

W3 与 W2 差异不显著; 施氮量单一因素下, 随施氮量的增加可溶性糖含量呈降低的趋势。在 W1 灌水水平, 可溶性糖含量随施氮量的增加而降低; 而在中、高灌水水平, 随施氮量增加, 可溶性糖含量降低的趋势有所缓解, 表现出水氮耦合效应, 即增加灌水能减轻高量氮肥对小油菜可溶性糖合成的抑制作用。

表 3 不同水氮处理对小油菜品质的影响

处理		Vc (mg · kg ⁻¹)	可溶性糖 (mg · kg ⁻¹)	硝酸盐 (mg · kg ⁻¹)
W1	N0	587.88 ± 1.68abAB	149.93 ± 1.65bBC	211.55 ± 1.77gE
	N1	591.44 ± 3.90abAB	138.95 ± 2.01bC	871.66 ± 1.67bcB
	N2	400.89 ± 1.83bcdBC	74.78 ± 1.35deDE	829.37 ± 1.49bcdBC
	N3	244.40 ± 1.99dC	52.29 ± 1.25eE	1 036.62 ± 1.74aA
W2	N0	485.25 ± 1.85bcABC	222.69 ± 1.78aA	121.55 ± 1.70ghEF
	N1	523.53 ± 1.84abcABC	114.60 ± 1.38bcdCD	755.93 ± 1.66defBCD
	N2	473.73 ± 1.77bcABC	90.86 ± 1.33cdeCDE	709.19 ± 1.67efCD
	N3	734.34 ± 1.86aA	108.53 ± 1.64bcdCDE	783.76 ± 1.70cdeBCD
W3	N0	611.73 ± 1.86abAB	201.39 ± 1.46aAB	38.74 ± 1.40hF
	N1	566.56 ± 1.79abcAB	112.42 ± 1.29bcdCD	661.12 ± 1.72fD
	N2	489.69 ± 2.08bcABC	114.25 ± 1.58bcdCD	900.75 ± 1.64bAB
	N3	348.21 ± 2.27cdBC	128.07 ± 1.24bcC	906.19 ± 1.70bAB
单一因素平均值				
灌水水平	W1	439.70 ± 1.57bA	103.36 ± 1.40bB	737.30 ± 1.63aA
	W2	554.22 ± 1.58aA	134.43 ± 1.43aA	592.65 ± 1.61bB
	W3	511.56 ± 1.57abA	138.55 ± 1.37aA	626.70 ± 1.64bB
施氮量	N0	561.77 ± 1.78aA	191.34 ± 1.61aA	124.01 ± 1.73cC
	N1	553.48 ± 1.81aA	120.10 ± 1.49bB	762.90 ± 1.73bB
	N2	454.11 ± 1.75aA	93.20 ± 1.45cB	813.10 ± 1.69bB
	N3	458.43 ± 1.91aA	95.69 ± 1.49cB	908.86 ± 1.76aA
F 检验显著性 (P)				
灌水水平		0.099 ^{ns}	0.002 ^{**}	0.000 ^{**}
施氮量		0.141 ^{ns}	0.000 ^{**}	0.000 ^{**}
灌水水平 × 施氮量		0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.000 ^{**}

方差分析表明, 施氮、灌水及水氮交互作用对硝酸盐含量的影响均达极显著水平 ($P < 0.01$)。灌水水平单一因素下, W2 灌水水平硝酸盐含量最低, 且与 W3 差异不显著, 均极显著低于 W1 灌水水平。施氮量单一因素下, 小油菜硝酸盐含量随施氮量增加呈增大的趋势。水氮交互作用下, 不施氮处理硝酸盐含量均极显著低于施氮处理, 高水低氮 (W3N1) 与中水 (W2) 的各个施氮处理硝酸盐含量较低, 而低水高氮 (W1N3) 处理硝酸盐含量最

高, 为 1 036.62 mg · kg⁻¹。

3 小结与讨论

水氮调控就是通过协调灌水与施氮量之间的关系, 以降低环境风险达到高产优质的目标。叶片数与叶面积是小油菜产量的重要决定因素。Hamzei 等^[18]研究表明, 叶日积与油菜干物质积累量呈正相关关系。小油菜根茎与叶片生物量之比影响其可食部分所占比例即经济效益的大小。低水无氮处理

(W1N0) 根茎与叶片生物量之比最大, 增加灌水、适量施氮能降低该比值。这可能是由于水分与养分胁迫都会促使根系生长, 根系表面积增大, 消耗的光合产物多, 向地上部分的输出减少^[19]。

小油菜产量与水氮供应状况息息相关。赵国苹等^[5]通过二元二次回归方程表达油菜鲜重、干重与灌水控制水平、施氮量之间的数量关系, 得出灌水控制水平为田间持水量的 80%, 施氮量为 $0.24 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 是最佳推荐量。本试验中, W3N3 处理 (田间持水量的 90%, $0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 产量最高, 但与 W3N1、W2N1、W2N2 差异不显著, 考虑节水节肥, W2N1 处理 (田间持水量的 75%, $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) 为最佳推荐量。本试验中施氮量为 $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 即能满足小油菜生长需要, 可能是供试土壤基础肥力较高且小油菜生育期短, 对氮肥需求量较小的缘故。

Vc 与可溶性糖含量是影响油菜营养品质的重要指标。由于土壤肥力水平和设置的施氮梯度不同^[20], 施氮对 Vc 含量的影响报道不一致, 有研究表明 Vc 含量随施氮量的增加呈抛物线趋势^[21], 也有研究得出, 施氮对 Vc 含量影响不显著^[12], 甚至随施氮量增加 Vc 含量反而降低^[14]; Vc 含量随着灌水量增加呈开口向下的抛物线型变化^[12]。本试验中只有水氮交互作用对 Vc 含量有显著影响, 中水高氮耦合能显著提高小油菜 Vc 含量。代顺冬等^[13]对番茄的研究表明, 适当的水分胁迫利于可溶性糖含量的增加, 而施氮对其影响不显著。而本试验中可溶性糖含量随施氮量的增加呈降低的趋势, 与张玲等^[14]关于油菜的研究一致。同时, 适当增加灌水有利于可溶性糖含量的增加。叶菜较茄果类蔬菜更易富集硝酸盐^[16], 摄入人体的硝酸盐会在体内转化为具有致癌作用的亚硝酸^[22], 其含量高低是衡量蔬菜品质的重要依据。小油菜硝酸盐含量随施氮量的增加呈增加的趋势, 与前人研究结果一致^[6,16,23]。适当增加水分供应能提高硝酸还原酶活性^[24], 因而降低硝酸盐积累, 这与 Maticic 等^[25], 郭丽娜等^[26]的研究一致。水氮交互作用下无氮处理达到了国家标准 (GB 18406.1—2001) “农产品安全质量无公害蔬菜安全要求”^[27] 的一级标准 (硝酸盐含量 $\leq 432 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), W2N1、W2N2、W3N1 为二级标准 ($\leq 785 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 其余为三级标准 ($\leq 1400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。小油菜品质对施氮、灌水量及其耦合效应的响应各异, 权衡 Vc、可溶性糖及硝酸盐含量各指标, 适当降低施氮增加灌水能获得

较高的品质。W2N1 组合不仅能促进小油菜生长与产量的提高, 节水节肥, 而且能保证较高的品质, 为推荐灌水施氮量。

参考文献:

- [1] 张志斌. 我国设施蔬菜存在的问题及发展重点 [J]. 中国蔬菜, 2008, 1 (5): 1-3.
- [2] 曲文涛, 范思梁, 吴存瑞. 我国设施农业发展存在的问题及对策 [J]. 农业科技与装备, 2010, (6): 151-152.
- [3] Hamzei J. Seed, oil and protein yields of canola under combinations of irrigation and nitrogen application [J]. Agronomy Journal, 2011, 103 (4): 1152-1158.
- [4] 周亚婷, 张国斌, 刘华, 等. 不同水肥供应对结球甘蓝产量、品质及水肥利用效率的影响 [J]. 中国蔬菜, 2015, (4): 54-59.
- [5] 赵国苹, 虞娜, 刘启, 等. 水氮配合对油菜生物量影响的研究 [J]. 土壤通报, 2006, 37 (2): 298-302.
- [6] 蔡树美, 诸海焱, 朱恩, 等. 上海地区典型设施菜地的生菜适宜施氮量研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (2): 49-52, 71.
- [7] Kuslu Y, Sahin U, Kiziloglu F M, et al. Fruit yield and quality, and irrigation water use efficiency of summer squash drip-irrigated with different irrigation quantities in a semi-arid agricultural area [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13 (11): 2518-2526.
- [8] Zhang H X, Chi D C, Wang Q, et al. Yield and quality response of cucumber to irrigation and nitrogen fertilization under subsurface drip irrigation in solar greenhouse [J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10 (6): 921-930.
- [9] 刘世全, 曹红霞, 杨慧, 等. 水氮供应与番茄产量和生长性状的关联性分析 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (22): 4445-4452.
- [10] 李静, 张富仓, 方栋平, 等. 水氮供应对滴灌施肥条件下黄瓜生长及水分利用的影响 [J]. 中国农业科学, 2014, 47 (22): 4475-4487.
- [11] 虞娜, 张玉龙, 张玉玲, 等. 灌溉和施肥对温室番茄产量和品质影响效应的研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (4): 31-35.
- [12] 牛晓丽, 胡田田, 周振江, 等. 水肥供应对番茄果实维生素 C 含量的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2013, (3): 37-42.
- [13] 代顺冬, 牛晓丽, 胡田田, 等. 水肥供应对番茄果实可溶性糖含量的影响 [J]. 节水灌溉, 2013, (3): 5-8.
- [14] 张玲, 杜新民. 氮钾肥配施对菜用油菜产量和品质的影响 [J]. 北方园艺, 2013, (24): 176-178.
- [15] 刘继培, 赵同科, 安志装, 等. 水氮交互作用对甘蓝产量和硝酸盐吸收累积的影响 [J]. 华北农学报, 2008, 23 (5): 208-213.
- [16] 王安, 张兰英, 王虎, 等. 不同氮肥用量对蔬菜硝酸盐累积的影响研究 [J]. 水土保持研究, 2010, 17 (2): 252-253.
- [17] 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. 246–248, 195–197, 123–124.
- [18] Hamzei J, Soltani J. Deficit irrigation of rapeseed for water – saving: Effects on biomass accumulation, light interception and radiation use efficiency under different N rates [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2012, 155: 153–160.
- [19] Passioura J B. Roots and drought resistance [J]. Agricultural Water Management, 1983, 7 (1–3): 265–280.
- [20] 汤丽玲, 张晓晟, 陈清, 等. 蔬菜氮素营养与品质 [J]. 北方园艺, 2002, (3): 6–7.
- [21] 王鹏勃, 李建明, 丁娟娟, 等. 水肥耦合对温室袋培番茄品质、产量及水分利用效率的影响 [J]. 中国农业科学, 2015, 48 (2): 314–323.
- [22] Selenka F. Nitrate in drinking water: The basis for a regulatory limit [A]. Winteringham F P W. Environment and chemicals in agriculture [C]. Amsterdam: Elsevier Appl Sci Publ, 1985. 87–105.
- [23] 余佳玲, 陈历儒, 张振华, 等. 不同供氮水平下油菜品种硝态氮累积利用特征与氮效率差异 [J]. 中国土壤与肥料, 2014, (3): 18–22.
- [24] 陈斌, 郭爱珍, 韩鹏远. 不同土壤水分条件下不同形态氮素配比对苘蒿生长发育的影响 [J]. 山西农业科学, 2014, 42 (12): 1289–1293.
- [25] Maticic B, Avbelj L, Feges M. The potential impact of irrigation/drainage and nitrogen fertilization on environmentally sound and antitoxic food production [A]. Proceedings of international conference on advances in planning, design and management of irrigation systems as related, (in summary) [C]. Leuven Belgium: Catholic Univ. of Leuven, 1992. 203–213.
- [26] 郭丽娜, 刘秀珍, 赵兴杰. 不同水分条件下不同形态氮素比例对苘蒿产量及品质的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2008, 16 (1): 258–260.
- [27] 李涛, 万广华, 蒋庆功, 等. 施肥对蔬菜中硝酸盐含量的影响 [J]. 土壤肥料, 2004, (4): 20–21, 24.

Regulation effects of different irrigation and nitrogen fertilization on growth, yield and quality of rape

GAO Na¹, ZHANG Yu-long¹, QU Jing¹, ZHANG Peng¹, ZHANG Yu-ling¹, ZOU Hong-tao¹, XIANG Guo-dong², YU Na^{1*} (1. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University/National Engineering Laboratory for Efficient Utilization of Soil and Fertilizer Resource/Northeast Key Laboratory of Conservation and Improvement of Cultivated Land, Ministry of Agriculture, Shenyang Liaoning 110866; 2. Agricultural Development Co. Ltd. Shenyang City Public Group, Shenyang Liaoning 110308)

Abstract: The effects of irrigation levels and nitrogen rates on the growth parameters, yield and quality of rape were investigated in a pot greenhouse experiment. The results indicated that effects of irrigation levels and nitrogen rates had significant or very significant impacts on the leaf number, leaf area, chlorophyll content and yield. All these indexes increased with the increasing irrigation level. And significant parabolic relationship was found between nitrogen rates and these indexes, which reached the maximum at nitrogen rate of $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ and $0.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, and there was no significant difference between the two rates. The high nitrogen rate combined with medium irrigation improved Vitamin C content of rape. Water soluble sugar and nitrate concentration were affected by both irrigation level, nitrogen rate and their interaction effect significantly. Enhanced irrigation decreased the negative effect of high nitrogen rate on the synthesis of water soluble sugar. Compared with the nitrogen application treatment, no nitrogen treatment showed a lower nitrate concentration. In addition, high irrigation level combined with low nitrogen rate as well as the nitrogen treatments under moderate irrigation regimes showed relatively lower nitrate concentration. In summary, the quality of rape was improved by properly lowering the nitrogen rate and increasing irrigation amount. The combination of medium irrigation and low nitrogen amount (75% of field water capacity, $0.1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$) was recommended as the optimum pattern for a comprehensive performance of the growth, yield and quality of rape.

Key words: rape; growth characteristics; yield; interaction effect of irrigation and nitrogen; quality