

水肥耦合对温室无土栽培黄瓜氮代谢的影响

张丽莹¹, 王荣莲², 张俊生², 程兴华³, 云兴福^{1,*}, 于健^{2,*}

(¹ 内蒙古农业大学农学院, 呼和浩特 010019; ² 内蒙古水利科学研究院, 呼和浩特 010020; ³ 内蒙古经贸学校, 呼和浩特 010010)

摘要: 以黄瓜‘中农 19 号’为材料, 研究了温室无土栽培条件下水肥耦合对几种氮代谢酶及相关物质含量的影响。设 3 种单株灌水量水平: 87 L (W1)、125 L (W2)、162 L (W3), 3 种单株施肥量水平: 64 g (F1)、92 g (F2)、119 g (F3)。试验结果表明, 灌水量处理对植株叶片硝酸还原酶 (NR)、谷氨酰胺合成酶 (GS)、谷氨酸合成酶 (GOGAT)、谷氨酸脱氢酶 (GDH) 活性及硝态氮和可溶性蛋白质含量的正影响显著, 在 F1 施肥水平下, W1 的几种氮代谢指标高于 W2 和 W3; 在 F2 和 F3 施肥水平下, W2 的灌水量水平最好。施肥量处理对 NR、GS、GOGAT、GDH 活性及硝态氮和可溶性蛋白质含量的正影响皆达到极显著水平, 在相同灌水量水平下, F3 > F2 > F1。灌水量和施肥量 2 因素之间有显著的互作效应。从相关分析上看氮代谢酶活性及相关物质含量与黄瓜产量及果实中硝酸盐、游离氨基酸、可溶性蛋白质及可溶性糖含量之间呈显著的正相关。

关键词: 黄瓜; 水肥耦合; 温室; 无土栽培; 氮代谢

中图分类号: S 642.2

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X (2011) 05-0893-10

Effects of Water and Fertilizer Coupling on Nitrogen Metabolism of Cucumber Under Soilless Culture in Greenhouse

ZHANG Li-ying¹, WANG Rong-lian², ZHANG Jun-sheng², CHENG Xing-hua³, YUN Xing-fu^{1,*}, and YU Jian^{2,*}

(¹ Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019, China; ² Water Resources Research Institute of Inner Mongolia, Huhhot 010020, China; ³ Trade School in Inner Mongolia, Huhhot 010010, China)

Abstract: Cucumber ‘Zhongnong19’ was used to investigate the effects of water and fertilizer coupling on several nitrogen metabolism enzymatic activities and related substance contents under soilless culture in greenhouse. Three single plant irrigation levels: 87 L (W1), 125 L (W2), 162 L (W3), and three fertilization levels: 64 L (F1), 92 L (F2), 119 L (F3). The results showed that nitrate reductase (NR), glutamine synthetase (GS), glutamate synthase (GOGAT), glutamate dehydrogenase (GDH), nitrate nitrogen and soluble proteins content were remarkably influenced by different irrigation levels. Under the F1 level, several metabolism indexes of the W1 level were higher than other levels. Under the F2 level and F3 level, the W2 level was the best. Activities of NR, GS, GOGAT, GDH, nitrate nitrogen and soluble protein contents were remarkably affected by the fertilization levels, the order was F3 level,

收稿日期: 2011-02-20; 修回日期: 2011-04-29

基金项目: 内蒙古自治区科技计划项目 (20020707)

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: jianyu192005@yahoo.com.cn; yxf5807@163.com)

followed by F2 level and F1 level under the same irrigation levels. There was an obvious interaction between irrigation treatment and fertilization treatment. Correlation analysis showed that nitrogen metabolism enzymatic activities and related substance contents were positively correlated with yield, nitrate contents of fruit, free amino acid of fruit, soluble protein of fruit, soluble sugar of fruit.

Key words: cucumber; water and fertilizer coupling; greenhouse; soilless culture; nitrogen metabolism

水肥耦合 (Water and fertilizer coupling) 是借用了物理学中的耦合概念提出的田间水肥管理新概念, 指在农业生态系统中, 土壤矿物元素与水这两个体系彼此作用, 相互影响, 对植物的生长发育所产生影响的结果。水肥耦合效应可产生 3 种不同的结果, 即协同效应、叠加效应和拮抗效应 (梁运江 等, 2006)。其对植物的影响在合理范围内有明显的协同作用, 但不同作物、不同地区适宜的水肥范围和主导因素又有所差别。张西平等 (2007) 认为, 在一定范围之内, 随着灌水量的增加, 温室黄瓜形态和光合等指标均不同程度地增加。徐福利等 (2009) 研究表明, 氮肥、磷肥及有机肥对黄瓜生长及产量有显著影响, 在一定范围内施肥能提高黄瓜产量, 但施用过量会起到反作用。陈小燕等 (2008) 研究表明, 增施氮肥可提高黄瓜耗水量, 但氮肥过多会降低水分利用效率。作者的研究结果显示, 中等灌水量处理的黄瓜植株产量和品质指标较好, 过高或过低的灌水量皆会导致其下降, 而随着施肥量的提高黄瓜植株的产量呈增加趋势, 而品质指标却呈抛物线变化, 即中等施肥量处理的黄瓜品质最好。

氮素代谢是植物最基本的生理代谢过程之一, 与碳代谢等协调统一共同成为植物生命活动的基本过程 (许振柱和周广胜, 2004)。硝酸还原酶 (NR)、谷氨酰胺合成酶 (GS)、谷氨酸合成酶 (GOGAT)、谷氨酸脱氢酶 (GDH) 是高等植物氮代谢的关键酶类。本试验中采用滴灌的方法, 研究温室无土栽培条件下水肥耦合对黄瓜氮代谢的影响, 以期对温室无土栽培黄瓜的水肥管理和高产优质提供技术支持及理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为黄瓜品种 ‘中农 19 号’。

栽培基质为珍珠岩, 所含成分不能为蔬菜生长所利用。植株定植于直径为 20 cm, 高 20 cm 的塑料栽培盆里, 摆放株距 40 cm, 行距 50 cm。

滴灌施肥设备借鉴以色列滴灌施肥设备, 主要由水源、水泵、文丘里施肥器、储水桶、输配水管道系统、毛管、滴头等组成。利用文丘里施肥器水流两端所产生的负压, 将肥料随同灌溉水以水滴状滴入基质, 滴灌灌水器的流量为 $2 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

1.2 试验设计

试验采用的肥料分为微量元素和大量元素。其中微量元素按照通用配方, 包括乙二胺四乙酸二钠铁 $30 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硼酸 $2.86 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫酸锰 $2.13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫酸锌 $0.22 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、硫酸铜 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、钼酸铵 $0.02 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 每天按照低水灌溉量施入, 各处理间无差异。大量元素包括硝酸钾、磷酸二氢钾、硝酸钙和硫酸镁, 设 3 种单株灌水量水平: 低水量 87 L (W1)、中水量 125 L (W2)、高水量 162 L (W3), 3 种单株施肥量水平: 低肥 64 g (F1)、中肥 92 g (F2)、高肥 119 g (F3), 共计 9 个

处理。其中 F2 和 W2 水平分别为预备试验中产量和品质综合指标最好的施肥量和灌水量水平, F1 和 F3 为 F2 向下和向上浮动 30%; W1 和 W3 为 W2 向下和向上浮动 30% (具体施用量见表 1 和表 2)。使用文丘里施肥器滴灌施肥的方法每天上午 9 时将肥料随灌溉水施入基质中。

试验于 2008—2009 年在内蒙古呼和浩特市园艺试验中心的日光温室中进行。各处理排列从东到西为 F1W1, F1W2, F1W3, F2W1, F2W2, F2W3, F3W1, F3W2, F3W3, 每个处理设 3 次重复, 每次重复 36 株。在每个小区处测定光照、温度、湿度等环境指标, 结果显示小区间环境数据无显著差异, 故可忽略小区影响。植株于苗龄 30 d 时定植 (3 月 21 日), 4 月 30 日前为幼苗期 (40 d), 5—6 月份为结果初期 (61 d), 7—8 月份为结果中期 (62 d), 9—10 月份为结果末期 (61 d)。每隔 15 d 取样 1 次, 试验结果为各时期样品的平均值。每次取样时间均为上午 10 时, 每个重复随机选取 10 株植株挂牌标记, 摘取自上而下数第 5 片功能叶为样本。

表 1 不同生育期灌水处理设计表

Table 1 Design of irrigation treatment at different stage

$/(L \cdot d^{-1} \cdot plant^{-1})$

处理 Treatment	幼苗期 Seedling stage	结果初期 Fruiting early stage	结果中期 Fruiting middle stage	结果末期 Fruiting later stage
低水 Low irrigation level (W1)	0.21	0.35	0.60	0.42
中水 Middle irrigation level (W2)	0.29	0.48	0.81	0.57
高水 High irrigation level (W3)	0.36	0.60	1.02	0.72

表 2 不同生育期施肥量处理设计表

Table 2 Design of fertilization treatment at different stages

$/(g \cdot d^{-1} \cdot plant^{-1})$

处理 Treatment		幼苗期 Seedling stage	结果初期 Fruiting early stage	结果中期 Fruiting middle stage	结果末期 Fruiting later stage
低肥 Low fertilization level (F1)	KNO ₃	0.005	0.048	0.100	0.067
	KH ₂ PO ₄	0.012	0.018	0.038	0.026
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.048	0.104	0.218	0.147
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.029	0.062	0.130	0.088
中肥 Middle fertilization level (F2)	KNO ₃	0.006	0.065	0.135	0.091
	KH ₂ PO ₄	0.016	0.025	0.052	0.035
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.065	0.141	0.296	0.199
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.039	0.084	0.176	0.119
高肥 High fertilization level (F3)	KNO ₃	0.008	0.082	0.171	0.115
	KH ₂ PO ₄	0.021	0.031	0.065	0.044
	Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	0.082	0.178	0.374	0.252
	MgSO ₄ ·7H ₂ O	0.049	0.106	0.223	0.150

注: 幼苗期 N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 1 : 1; 结果期 N : P₂O₅ : K₂O = 2 : 1 : 3。

Note: Seedling stage N : P₂O₅ : K₂O = 1 : 1 : 1; Fruiting stage N : P₂O₅ : K₂O = 2 : 1 : 3.

1.3 测定项目

测定硝酸还原酶 (NR) 活性 (郝建军 等, 2007), 谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性 (孔祥生和易现峰, 2008), 谷氨酸合成酶 (GOGAT) 活性和谷氨酸脱氢酶 (GDH) 活性 (林振武 等, 1986; Chuan & Ching, 1996); 测定硝态氮含量 (郝再彬 等, 2004) 和可溶性蛋白质含量 (孔祥生和易现峰, 2008)。

采用 SPSS13.0 统计软件的 LSD 和 Duncan's 法对试验数据进行分析处理, Excel 软件作图, 图表数据均为 3 次重复的平均值。

2 结果与分析

2.1 水肥耦合对黄瓜叶片中氮代谢酶活性及相关物质的影响

从水肥间的交互作用来看,除幼苗期的 NR 活性外,灌水量与施肥量对各生育期黄瓜叶片中 NR、GS、GOGAT 及 GDH 几种酶活性均存在显著或极显著的交互作用(表 3)。随着生育期的推进,黄瓜不同处理叶片中的 NR 活性均表现为逐渐降低的趋势,GS、GOGAT 及 GDH 活性变化皆表现为先增高后降低的趋势,各时期各处理间差异显著(图 1)。灌水量对黄瓜几种氮代谢指标正影响显著(表 3)。由图 1 可见,在幼苗期叶片 NR 活性表现为 W2 和 W3 显著高于 W1, W2 和 W3 之间差异不显著; GS 活性表现为 F1 和 F3 水平下 W1 和 W2 显著高于 W3, F2 水平下 W2 > W3 > W1; GOGAT 活性表现为 F1 水平下 W1 和 W2 显著高于 W3, F2 水平下 3 种灌水量处理之间差异不显著, F3 水平下 W3 > W2 > W1; GDH 活性表现为 F1 和 F2 水平下 3 种灌水量处理之间差异不显著, F3 水平下 W3 > W2 > W1。在结果期灌水量对 NR、GS、GOGAT 及 GDH 活性均表现为 F1 水平下 W1 > W2 > W3, F2 和 F3 水平下 W2 > W3 > W1。

在黄瓜整个生育期施肥量对叶片中的 NR、GS、GOGAT 及 GDH 活性的正影响均显著(表 3),相同灌水量水平下均表现为 F3 > F2 > F1(图 1)。这说明几种氮代谢酶在幼苗期对水分的需求量不同,在结果期 F1 水平下较低的灌水量利于氮代谢酶活性的提高, F2 和 F3 水平下 W2 处理有利于酶活性的提高,过高或过低的灌溉皆抑制了其活性。在本试验所设 3 个施肥量水平中,随着施肥量的增加氮代谢酶活性随之提高。F3W2 为结果期氮代谢酶活性最高的处理。

表 3 水肥耦合条件下各生育期功能叶氮代谢酶活性及相关物质含量的双因素方差分析(F 值)

Table 3 Double-way analysis of nitrogen metabolism enzymatic activities and related substance contents of leaves at different growth stages under water-fertilizer coupling (F-value)

处理 Treatment	指标 Index	生育期 Growth stage			
		幼苗期 Seedling stage	结果初期 Fruiting early stage	结果中期 Fruiting middle stage	结果末期 Fruiting later stage
W	NR	17.97**	4.91*	2.05	3.13
	GS	5.57*	13.08**	12.50**	0.68
	GOGAT	7.13**	6.14**	18.65**	86.16**
	GDH	12.73**	7.05**	4.18*	11.70**
	硝态氮 Nitrate nitrogen	46.14**	29.04**	12.12**	14.99**
	可溶性蛋白 Soluble protein	10.70**	44.09**	27.10**	7.52**
F	NR	142.13**	172.33**	182.78**	202.64**
	GS	45.11**	209.87**	55.63**	205.28**
	GOGAT	112.09**	73.49**	248.85**	457.27**
	GDH	54.46**	75.64**	25.92**	78.46**
	硝态氮 Nitrate nitrogen	205.09**	258.08**	34.62**	112.55**
	可溶性蛋白 Soluble protein	67.44**	137.10**	178.45**	95.47**
W × F	NR	0.13	17.86**	15.52**	9.77**
	GS	3.50*	12.46**	4.80**	8.29**
	GOGAT	21.72**	5.80**	14.06**	75.82**
	GDH	11.19**	5.64**	3.30*	4.42*
	硝态氮 Nitrate nitrogen	5.98**	11.56**	4.17*	2.89
	可溶性蛋白 Soluble protein	3.79*	8.11**	6.65**	2.61

注: * 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平下的差异显著。

Note: * and ** indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels respectively.

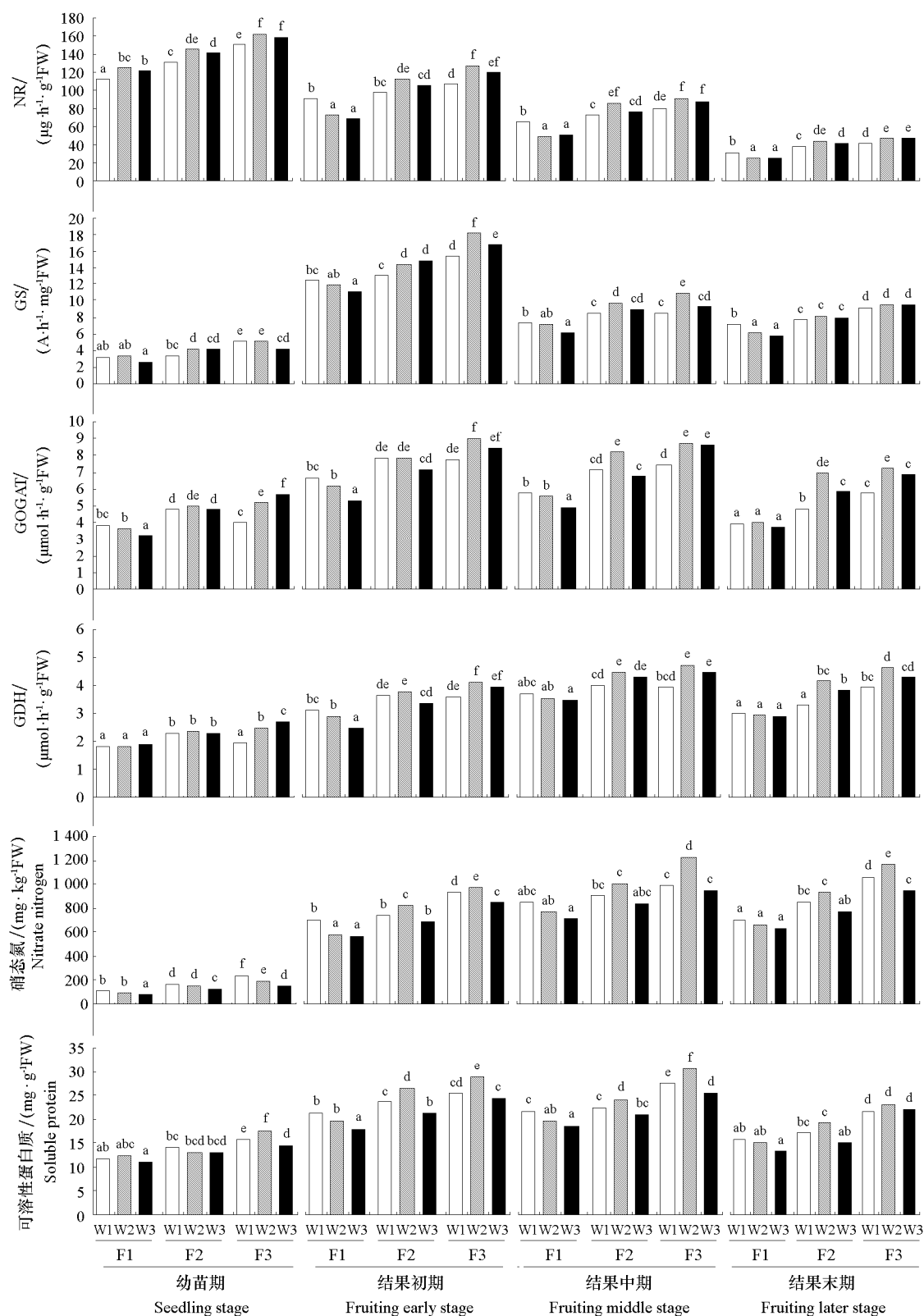


图 1 不同处理对各生育期功能叶氮代谢酶活性及相关物质含量的影响

不同字母表示 0.05 水平下差异显著。

Fig. 1 Effects of different treatments on nitrogen metabolism enzymatic activities and related substance contents of leaves at different growth stages

Different letters indicate significant difference at 0.05 level.

从水肥间的交互作用来看,灌水量与施肥量对幼苗期、结果初期和结果中期的黄瓜叶片中硝态氮和可溶性蛋白质含量均存在显著或极显著的交互作用(表3)。黄瓜叶片中硝态氮的含量在幼苗期较低,结果期较高。可溶性蛋白质含量在幼苗期较低,结果初期和结果中期较高,结果末期又有所下降。各时期各处理间差异显著(图1)。灌水量对黄瓜叶片硝态氮及可溶性蛋白质含量正影响显著(表3),在幼苗期表现为W1和W2显著高于W3;对可溶性蛋白质的影响表现为F1和F2水平下3种灌水量处理之间差异不显著,F3水平下W2>W1>W3。在结果期灌水量对硝态氮和可溶性蛋白质含量的影响均表现为F1水平下W1最高,F2和F3水平下W2最高(图1)。在黄瓜整个生育期施肥量对叶片中硝态氮和可溶性蛋白质含量均有显著性的正影响(表3),且在相同的灌水量水平下都表现为F3>F2>F1(图1)。这说明在幼苗期W3不利于叶片硝态氮和可溶性蛋白质含量的提高,在结果期F1水平下较低的灌水量利于硝态氮和可溶性蛋白质含量的提高,F2和F3水平下W2处理有利于其提高。在本试验所设3个施肥量水平中,随着施肥量的增加硝态氮和可溶性蛋白质含量随之提高。F3W2亦为结果期叶片硝态氮及可溶性蛋白质含量最高的处理。

2.2 水肥耦合条件下黄瓜氮代谢与产量和品质间的关系

各处理间黄瓜产量差异显著,F3W2>F3W3>F3W1>F2W2>F2W3>F2W1>F1W1>F1W2>F1W3,同氮代谢指标的结果相近,F3W2处理为产量最高的处理。各品质指标也有显著差异,虽然F3水平的黄瓜果实中游离氨基酸、可溶性蛋白质、可溶性糖含量较高,但硝酸盐含量也较高(表4)。硝酸盐是一种对人和动物有害的物质,根据联合国粮食组织(FAO)和世界卫生组织的标准(WHO),我国提出蔬菜中硝酸盐含量低于432 mg·kg⁻¹为生食标准。F3水平的黄瓜果实硝酸盐含量并未达到生食标准,尽管其产量较高也不是最好的指标。在F1和F2水平下,F2W2为产量最高的处理,同时其几种品质指标以较好。故F2W2为黄瓜产量和品质最好的处理。

表 4 水肥耦合对黄瓜产量和品质的影响

Table 4 Effects of water-fertilizer coupling on yield and qualities of cucumber

处理 Treatment		指标 Index					
施肥量 Fertilization	灌水量 Irrigation	产量/ (kg·plant ⁻¹) Yield	硝酸盐/ (mg·kg ⁻¹ FW) Nitrate content	游离氨基酸/ (mg·kg ⁻¹ FW) Free amino acids	可溶性蛋白质/ (g·kg ⁻¹ FW) Soluble protein	可溶性糖/ (g·kg ⁻¹ FW) Soluble sugar	维生素 C/ (mg·kg ⁻¹ FW) Vitamin C
F1	W1	2.01 b	292.66 a	188.0 b	1.79 a	18.16 abc	166.8 bc
	W2	1.99 b	325.78 a	143.2 a	2.05 abc	17.04 ab	134.8 ab
	W3	1.77 a	313.08 a	152.7 a	1.90 ab	16.73 a	152.4 abc
F2	W1	2.40 c	395.64 c	221.1 c	1.82 a	19.32 bc	127.5 a
	W2	2.56 d	360.50 b	250.1 cde	2.10 bcd	18.94 abc	165.1 abc
	W3	2.44 cd	342.25 bc	241.7 cd	2.15 cde	17.20 ab	174.7 c
F3	W1	2.69 e	492.79 e	290.3 e	2.44 f	22.32 d	129.0 a
	W2	2.99 f	483.77 e	28.62 e	2.36 ef	22.44 d	162.3 abc
	W3	2.90 f	453.87 d	266.0 de	2.32 def	20.40 cd	159.7 abc

注:不同字母表示0.05水平下差异显著。

Note: Different letters indicate significant difference at 0.05 level.

氮代谢是植物的生理过程之一,它与作物的产量和品质密切相关。在水肥耦合条件下黄瓜叶片中几种氮代谢酶和硝态氮及可溶性蛋白含量除了与果实中维生素C含量相关性不显著外,与产量、果实中硝酸盐、游离氨基酸、可溶性蛋白质及可溶性糖含量皆呈极显著的正相关性,但相关系数不同。同产量最相关的氮代谢指标为叶片中可溶性蛋白质含量和GS活性,同果实硝酸盐含量最相关的氮代谢指标为叶片硝态氮含量,同果实游离氨基酸含量最相关的是叶片NR活性,同果实可溶性

蛋白质及可溶性糖含量最相关的是叶片可溶性蛋白质含量（表 5）。

表 5 水肥耦合条件下黄瓜氮代谢指标与产量及品质间的相关性

Table 5 Correlations of nitrogen metabolism indexes with yield and qualities of cucumber under water-fertilizer coupling

果实产量及品质指标 Yield and quality indexes	氮代谢指标 Nitrogen metabolism indexes					
	NR	GS	GOGAT	GDH	硝态氮 Nitrate nitrogen	可溶性蛋白 Soluble protein
产量 Yield	0.67**	0.80**	0.65**	0.69**	0.70**	0.84**
硝酸盐 Nitrate	0.76**	0.86**	0.71**	0.73**	0.87**	0.82**
游离氨基酸 Free amino acids	0.92**	0.90**	0.84**	0.83**	0.84**	0.80**
可溶性蛋白质 Soluble protein	0.63**	0.68**	0.70**	0.67**	0.67**	0.72**
可溶性糖 Soluble sugar	0.63**	0.75**	0.62**	0.66**	0.71**	0.82**
维生素 C Vitamin C	0.19	0.11	0.11	0.34	0.05	0.01

注：**表示在 0.01 水平下差异显著。

Note: ** indicate significant difference at 0.01 level.

3 讨论

NR 是植物氮代谢硝酸盐同化过程中的限速酶，是催化 NO₃⁻ 转化为氨基酸的第一步反应（许振柱和周广胜，2004；高慧璟 等，2009），常被用来表示氮代谢的强度。本试验中 NR 活性在幼嫩叶片中较高，随着植株的成熟、老化而活性降低，这可能是由于随着植株的生长发育，各器官需要还原的 NO₃⁻ 的数量增加，需要大量碳水化合物作为能源配合，造成了 NR 活性的下降。孙永健等（2009）的研究认为，只有适度的含水量才能够改善 NR 活性；水分不足或过度都不利于 NR 活性的提高。在本试验中 F2、F3 施肥水平下皆是 W2 灌水水平的 NR 活性显著高于 W1 及 W3，说明在肥力充足的情况下过高或过低的灌水量皆不利于 NR 活性的提高。在 F1 处理下 W1 显著大于 W2 和 W3，说明在低肥处理下高灌水量会抑制 NR 活性。有研究认为随着化学肥料施用量的加大，植株的硝酸盐含量和 NR 活性增加（何舞 等，2009）。在本试验设计的肥料水平下结果亦如此，施肥量越高，黄瓜叶片中 NR 活性越强。

GS-GOGAT 途径是氮代谢的关键途径，高效的 GS-GOGAT 途径是保证植株内氮代谢顺利进行的基础，与植株体内较低的氨浓度相对应，能够高效利用土壤中的氮营养，减少氮的渗漏损失（刘淑云 等，2007）。孟战赢等（2009）研究认为水分对植株 GS 活性影响较小，而曹慧等（2009）认为水分胁迫下植株叶片中的 GS、GOGAT 活性呈明显的下降趋势。本试验结果显示灌水量对 GS、GOGAT 活性影响显著，适宜的灌水量有利于两者活性的提高。前人在对不同氮素水平下作物的 GS 活性研究中指出，植株的 GS 活性随土壤氮素水平的提高而升高（王东和于振文，2007；陈晓飞，2008），本试验也验证了这一点，在各个生育期黄瓜 GS 及 GOGAT 活性均为 F3 > F2 > F1。

目前关于 GDH 在植物体内的生理功能尤其是氮素代谢方面发挥的作用还不能准确定论，但普遍认为 GDH 是氮素代谢中的一个关键酶（汪建飞 等，2007）。本试验结果显示黄瓜叶片中的 GDH 活性在生育前期处于较低状态，到了结果中末期较高。这可能是由于随着生育期的推进，植株日益衰老，GS-GOGAT 途径减弱，促进了 GDH 活性的升高。王云华等（2004）也认为植株光合能力下降，导致碳氮比降低，植物碳素受限后 GDH 的重要性就会表现出来。

本试验中硝态氮含量在幼苗期最低，随着生育期的推进植株体内硝态氮积累量逐渐增加，这可能是由于幼苗期施肥量和植株体内 NR 活性较高双重因素作用下的结果。随着植株的成熟、老化，硝酸盐积累量逐渐增加，可能是由于 NR 对其的还原量远小于植株吸收的硝酸盐数量导致。植物体

内的可溶性蛋白质成分大多是参与各种代谢的酶类,因此可溶性蛋白质含量多少与植物体内的代谢强度有关(易昉,2009)。本试验研究结果显示黄瓜叶片中可溶性蛋白质含量苗期较低,之后逐渐升高,结果末期略有降低,可以说明在结果初期和结果中期水果黄瓜代谢较强。

本试验研究结果表明,灌水量处理对黄瓜氮代谢关键酶活性影响明显,在 F2 和 F3 水平下 W2 显著高于其他两个灌水水平, W1 处理氮代谢关键酶活性较低可能是由于在水分亏缺条件下,核酸酶活性提高, ATP 合成减少,降低了植物的吸氮能力,使氮代谢酶合成受阻导致。Gonzalez-moro 等(2000)的研究也表明水分胁迫严重影响植物对无机氮的利用,造成体内氮代谢的紊乱。W3 处理氮代谢关键酶活性较低可能是由于长期大量灌水不利于根系活力的提高,造成了根系过早衰老,使根系对养分的吸收能力降低(岳寿松等,1996),而导致其硝酸盐含量一直处于最低状态,使得氮代谢关键酶活性也处于较低状态,同样蛋白质的合成也受到阻碍。所以将灌水量控制在合理范围内,既有利于黄瓜生长发育,又不会造成水资源的浪费。

王朝辉等(2000)研究表明蔬菜硝态氮含量随氮肥增加而不断提高。赵宏伟(2003)的研究亦表明氮代谢关键酶活性也表现为随着施肥量的提高而增加。本试验研究结果同此一致,施肥量对 NR、GS、GOGAT、GDH 活性及硝态氮和可溶性蛋白质含量的影响均达到极显著水平,皆为 F3 > F2 > F1。这是因为本试验采用的氮肥为硝态氮,随着施肥量的提高,提供给植株的硝态氮含量也越高,而氮代谢第一步反应酶 NR 是底物诱导酶,导致 NR 活性升高,使得 NO₃⁻还原 NH₄⁺同化增强,生成的 NH₄⁺增多,GS、GOGAT、GDH 的活性亦升高,可溶性蛋白质含量也就越高。F3 水平的氮代谢旺盛,相对的植株生长也较好,产量亦较高。可是 F3 水平的氮代谢酶活性虽然很高,却不能完全还原植株体内过量的硝态氮,由于“源一库”关系,导致黄瓜果实中硝酸盐含量过高,品质较低。

4 结论

灌水量处理对温室无土栽培条件下各时期黄瓜氮代谢酶活性及相关物质含量均有显著正影响,在 64 g·株⁻¹的施肥量下,87 L·株⁻¹的灌水量水平相对于其他灌水量水平更有利于氮代谢指标的提

高;在 92 g·株⁻¹和 119 g·株⁻¹的施肥量下,125 L·株⁻¹的灌水量水平最好。

施肥量处理对温室无土栽培条件下各时期黄瓜氮代谢酶活性及相关物质含量均有显著正影响,在本试验所设相同灌水条件下,119 g·株⁻¹的施肥量水平 > 92 g·株⁻¹的施肥量水平 > 64 g·株⁻¹的施肥量水平。

灌水量和施肥量对黄瓜叶片氮代谢酶活性及相关物质含量有显著互作效应。

氮代谢酶活性及相关物质含量与黄瓜产量及果实中硝酸盐、游离氨基酸、可溶性蛋白质及可溶性糖含量之间呈极显著的正相关。

References

- Cao Hui, Wang Xiao-wei, Zou Yan-mei, Shu Huai-rui. 2009. Effects of exogenous nitric oxide on the several enzymes of nitrogen metabolism in *Malus hupehensis* Rehd. Seedlings under water stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 36 (6): 781 - 786. (in Chinese)
- 曹 慧, 王孝威, 邹岩梅, 束怀瑞. 2009. 外源 NO 对水分胁迫下平邑甜茶幼苗中几种氮代谢酶的影响. *园艺学报*, 36 (6): 781 - 786.
- Chen Xiao-fei, Ning Shu-ju, Wei Dao-zhi, Zhang Hong-ping. 2008. Effect of nitrogen level on nitrogen metabolism in rice seedling. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 16 (3): 571 - 575. (in Chinese)
- 陈晓飞, 宁书菊, 魏道智, 张洪平. 2008. 氮素营养水平对水稻幼苗氮代谢的影响. *中国生态农业学报*, 16 (3): 571 - 575.
- Chen Xiao-yan, Wang Lu, Wang Yong-quan, Sun Huan-ming, Ren Hua-zhong. 2008. Effects of graft and nitrogen supply level on water consumption

- and water use efficiency of solar greenhouse cucumber under traditional irrigation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 19 (12): 2656 – 2660. (in Chinese)
- 陈晓燕, 王璐, 王永泉, 孙奂明, 任华中. 2008. 常规灌溉条件下嫁接和增施氮肥对温室黄瓜耗水量及水分利用效率的影响. *应用生态学报*, 19 (12): 2656 – 2660.
- Chuan Chi-lin, Ching Huei-kaio. 1996. Disturbed ammonium assimilation is associated with growth inhibition of roots in rice seedlings caused by NaCl. *Plant Growth Regulation*, 18: 233 – 238.
- Gao Hui-jing, Xiao Neng-wen, Li Jun-sheng, Chen Xiao-yun, Chen Fa-jun, Zhai Bao-ping. 2009. Effects of doubled atmospheric CO₂ concentration on nitrogen metabolism of transgenic Bt cotton under different nitrogen fertilization level. *Chinese Journal of Ecology*, 28 (11): 2213 – 2219. (in Chinese)
- 高慧璟, 肖能文, 李俊生, 陈小云, 陈法军, 翟保平. 2009. 不同氮素水平下 CO₂ 倍增对转 Bt 棉花氮素代谢的影响. *生态学报*, 28 (11): 2213 – 2219.
- Gonzalez-moro B, Mena-petite A, Lacuesta M, Gonzalez-murua C, Munoz-rueda A. 2000. Glutamine synthetase from mesophyll and bundle sheath maize cells: Isonenzyme complements and different sensitivities to phosphinothricin. *Plant Cell Reports*, 19 (11): 1127 – 1134.
- Hao Jian-jun, Kang Zong-li, Yu Yang. 2007. *Experimental technique of plant physiology*. Beijing: Chemical Industry Press. (in Chinese)
- 郝建军, 康宗利, 于洋. 2007. *植物生理学实验技术*. 北京: 化学工业出版社.
- Hao Zai-bin, Cang Jing, Xu Zhong. 2004. *Experimental of plant physiology*. Harbin: Harbin Institute of Technology Press. (in Chinese)
- 郝再彬, 苍晶, 徐仲. 2004. *植物生理实验*. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社.
- He Wu, Liu Hong-yao, Zhu Duan-wei, Huang Jun-bin, Geng Ming-jian. 2009. Effects of different fertilization on the growth, quality and nitrogen metabolism of the garlic seedling. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 28 (2): 179 – 182. (in Chinese)
- 何舞, 刘红耀, 朱端卫, 黄俊斌, 耿明建. 2009. 不同肥料施用对大蒜生长、品质和氮代谢的影响. *华中农业大学学报*, 28 (2): 179 – 182.
- Kong Xiang-sheng, Yi Xian-feng. 2008. *Experimental technique of plant physiology*. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 孔祥生, 易现峰. 2008. *植物生理学实验技术*. 北京: 中国农业出版社.
- Liang Yun-jiang, Yi Yan-li, Xu Guang-bo, Yang Yu, Xie Xiu-hong. 2006. Research progress and prospect of coupling effects between water and fertilizers. *Hubei Agricultural Sciences*, 45 (3): 385 – 388. (in Chinese)
- 梁运江, 依艳丽, 徐广波, 杨宇, 谢修鸿. 2006. 水肥耦合效应的研究进展与展望. *湖北农业科学*, 45 (3): 385 – 388.
- Lin Zhen-wu, Zheng Chao-feng, Wu Shao-bo, Wang Yu-qin, Tang Yu-wei. 1986. Study of relation between NR activity and endurance to fertilization of crops: II. Absorbing and assimilation to nitrogen of indica and japonica rice. *Acta Agron Sin*, 12 (1): 9 – 14. (in Chinese)
- 林振武, 郑朝峰, 吴少伯, 王玉琴, 汤玉玮. 1986. 硝酸还原酶活力与作物耐肥性的研究 II. 籼、粳稻对硝态氮的吸收和同化. *作物学报*, 12 (1): 9 – 14.
- Liu Shu-yun, Dong Shu-ting, Zhao Bing-qiang, Li Xiu-ying, Zhang Zhen-shan. 2007. Effects of long-term fertilization on activities of key enzymes related to nitrogen metabolism (ENM) of maize leaf. *Acta Agronomica Sinica*, 33 (2): 278 – 283. (in Chinese)
- 刘淑云, 董树亭, 赵秉强, 李秀英, 张振山. 2007. 长期施肥对夏玉米叶片氮代谢关键酶活性的影响. *作物学报*, 33 (2): 278 – 283.
- Meng Zhan-ying, Lin Tong-bao, Wang Yu-hong. 2009. Effects of water-fertilizer on summer corn nitrogen metabolism. *Journal of Maize Sciences*, 17 (5): 100 – 103. (in Chinese)
- 孟战赢, 林同保, 王育红. 2009. 水肥效应对夏玉米产量及氮代谢相关指标的影响. *玉米科学*, 17 (5): 100 – 103.
- Sun Yong-jian, Sun Yuan-yuan, Li Xu-yi, Guo Xiang, Ma Jun. 2009. Relationship of activities of key enzymes involved innitrogen metabolism with nitrogen utilization in rice under water-nitrogen interaction. *Acta Agron Sinica*, 35 (11): 2055 – 2063. (in Chinese)
- 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 郭翔, 马均. 2009. 水氮互作下水稻氮代谢关键酶活性与氮素利用的关系. *作物学报*, 35 (11): 2055 – 2063.
- Wang Chao-hui, Tian Xiao-hong, Li Sheng-xiu. 2000. Effects of nitrate accumulation on water and organic-N in vegetables. *China Environmental Science*, 20 (6): 481 – 485. (in Chinese)
- 王朝辉, 田霄鸿, 李生秀. 2000. 硝态氮累积对蔬菜水分、有机氮的影响. *中国环境科学*, 20 (6): 481 – 485.
- Wang Dong, Yu Zhen-wen. 2007. Effects of different nitrogen application levels on nitrogen assimilation and grain protein accumulation of strong gluten wheat. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21 (5): 147 – 150. (in Chinese)

- 王 东, 于振文. 2007. 施氮水平对强筋小麦氮素同化及籽粒蛋白质组分积累的影响. 水土保持学报, 21 (5): 147 - 150.
- Wang Jian-fei, Dong Cai-xia, Shen Qi-rong. 2007. Effect of $\text{NH}_4^+\text{-N}/\text{NO}_3^-\text{-N}$ ratios on the free amino acids and three kinds of enzymes of nitrogen metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) shoot. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 13 (4): 664 - 670. (in Chinese)
- 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 2007. 氮素不同形态对比对菠菜体内游离氨基酸含量和相关酶活性的影响. 植物营养与肥料学报, 13 (4): 664 - 670.
- Wang Yun-hua, Wang Zhi-qiang, Zhang Chu-fu, Zhou Zhong-xin, Ma Jing-kun, Ou Ji-quan. 2004. Effect of nitrate nitrogen on activities of glutamine synthetase and glutamate dehydrogenase during development of cucumber cotyledon. Journal of Wuhan Botanical Research, 22 (6): 534 - 538. (in Chinese)
- 王云华, 王志强, 张楚富, 周忠新, 马敬坤, 欧吉权. 2004. 硝态氮对黄瓜子叶谷氨酰胺合成酶和谷氨酸脱氢酶活性的影响. 武汉植物学研究, 22 (6): 534 - 538.
- Xu Zhen-zhu, Zhou Guang-sheng. 2004. Research advance in nitrogen metabolism of plant and its environmental regulation. Chinese Journal of Applied Ecology, 15 (3): 511 - 516. (in Chinese)
- 许振柱, 周广胜. 2004. 植物氮代谢及其环境调节研究进展. 应用生态学报, 15 (3): 511 - 516.
- Xu Fu-li, Wang Zhen, Xu Hui-min, Wan Chao, Chen Zhi-jie. 2009. Study on the response and fertilization model of cucumber for nitrogen, phosphorus and manure application in greenhouse under drip irrigation. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 15 (1): 177 - 182. (in Chinese)
- 徐福利, 王 振, 徐慧敏, 万 超, 陈志杰. 2009. 日光温室滴灌条件下黄瓜氮、磷、有机肥肥效与施肥模式研究. 植物营养与肥料学报, 15 (1): 177 - 182.
- Yi Yang. 2009. Regulation of salicylic acid on photosynthesis and nitrogen metabolism of cucumber seedlings under water stress [M. D. Dissertation]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. (in Chinese)
- 易 旸. 2009. 水杨酸对水分胁迫下黄瓜幼苗光合及氮代谢的调节作用[硕士论文]. 北京: 中国农业科学院.
- Yue Shou-song, Yu Zhen-wen, Yu Song-lie. 1996. Senescence of flag leaf and root in wheat. Acta Agron Sinica, 22 (1): 55 - 58. (in Chinese)
- 岳寿松, 于振文, 余松烈. 1996. 小麦旗叶与根系衰老的研究. 作物学报, 22 (1): 55 - 58.
- Zhang Xi-ping, Zhao Sheng-li, Zhang Xu-dong, Liu Hong-quan, Du Guang-qian, Cai Huan-jie. 2007. Effect on morphology and photosynthesis index of cucumber under plastic mulch in solar greenhouse with different irrigation amount. Chinese Agricultural Science Bulletin, 23 (6): 622 - 626. (in Chinese)
- 张西平, 赵胜利, 张旭东, 刘宏权, 杜光乾, 蔡焕杰. 2007. 不同灌水处理对温室黄瓜形态及光合作用指标的影响. 农业工程科学, 23 (6): 622 - 626.
- Zhao Hong-wei. 2003. Studies on the mechanism of carbon and nitrogen metabolism of spring maize under different nitrogen nutrition levels [Ph. D. Dissertation]. Harbin: Northeast Agricultural University. (in Chinese)
- 赵宏伟. 2003. 不同氮素营养水平下春玉米碳氮代谢机理的研究[博士论文]. 哈尔滨: 东北农业大学.

征 订

《中国蔬菜品种志》

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主编, 已于 2002 年 9 月出版发行。全书分上、下卷, 1 ~ 6 章为上卷, 包括根菜类、白菜类、芥菜类、甘蓝类、绿叶菜类及葱蒜类, 计 2 263 个品种, 1 347 页; 7 ~ 12 章为下卷, 包括瓜类、茄果类、豆类、薯芋类、水生蔬菜类和多年生蔬菜类, 计 2 550 个品种, 1 177 页。入志的品种中, 地方品种占 90% 以上, 少量在全国栽培时间较长、种植面积较大的一代杂种也选入其中。本书较全面系统而又有重点地反映了中国丰富的蔬菜品种资源概貌、研究成果及育种水平, 可供蔬菜科研、教学、生产及种子公司、农业行政单位的人员参考。本书出版后受到读者普遍好评, 现尚有少量存书, 特以优惠价格 490 元(上、下卷)提供给读者(原价 980 元)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街 12 号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部, 邮编 100081。