

不同氮素形态对黄瓜光合作用及果实品质的影响

武新岩^{1,2}, 郭建华², 方正³, 张毅功¹, 毛思帅⁴, 张丽娟¹, 赵斌³

(1 河北农业大学 资源与环境科学学院, 河北 保定 071000; 2 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097;

3 河北农业大学 河北省生物无机化学重点实验室, 河北 保定 071001; 4 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193)

摘要: 采用设施栽培的试验方法, 测定时分为黄瓜初花叶位、花叶叶位、果叶叶位, 研究了不同铵态氮、硝态氮肥料对比对黄瓜叶绿素、光合作用及果实品质的影响。结果表明: 相同处理的黄瓜不同叶位的 SPAD 差异显著, 黄瓜花叶叶位的 SPAD 值最大, 其次是果叶叶位, 最后是初花叶位; 不同的铵态氮、硝态氮配施, 无论是初花、花叶还是果叶叶位的 SPAD 都随着硝态氮的增加而增大, 总的来说, 不同施肥配比处理间的差异不是很显著; 适宜的肥料水平有利于提高作物的光能转化效率, 更能促进植株光合作用的提高, 净光合速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、蒸腾速率, 花叶叶位最大, 果叶叶位次之, 初花叶位最小。铵态氮与硝态氮配施比例为 $(\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+ = 50 : 50)$ 时, 黄瓜果实的硝酸盐、有机酸含量最低, VC 含量最高, 品质较好, 产量较高。

关键词: 铵态氮; 硝态氮; 黄瓜; 光合作用; SPAD

中图分类号: S642.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2011)02-0223-05

Effects of Different Nitrogen-form on the Photosynthesis and Fruit Quality of Cucumber

WU Xin-yan^{1,2}, GUO Jian-hua², FANG Zheng³, ZHANG Yi-gong¹, MAO Si-shuai⁴,
ZHANG Li-juan¹, ZHAO Bin³

(1 Department of Environment Science, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, China

2 National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China

3 Key Lab of Bio-inorganic Chemistry of Hebei Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China

4 College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract With the facility experiments, it was investigated that the influence on chlorophyll of cucumber photosynthesis and fruit quality on different ratios of ammonium-N and nitrate-N. Results showed as follows: in the same treatment, different leaves' SPAD was significant; flower leaves affected SPAD very much, fruit leaves less, and early flower leaves the least. Different nitrate-N and ammonium-N combined with the increase of nitrate-N, SPAD of the flower leaves, fruit leaves, early flower leaves increased. In general, different fertilizer ratio was not significant. Appropriate fertilizer level was helpful to improve the efficiency of light conversion, and could enhance the plants photosynthesis. The net photosynthesis rate, Cond, C_i , the transpiration rate had the same changing rule on cucumber flower leaves was the greatest, fruit leaves was the second, early leaves was the last. When the ratio of the nitrate-N and ammonium-N is 1:1, the nitrate and organic acid content was lower, VC content was higher, quality was better, yield was higher.

Key words Ammonium nitrogen; Nitrate nitrogen; Cucumber; Photosynthesis; SPAD

随着我国农业种植结构的调整, 近年来蔬菜种植面积所占比例逐年增加, 据统计资料显示, 2008

年北京市耕地面积总计为 231 700 hm^2 , 主要农作物播种面积为 322 000 hm^2 , 全市蔬菜种植面积为

收稿日期: 2011-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30940048); 北京市自然科学基金项目 (6082010); 科技部资助项目 (2007BAD44B06); 国家“863”项目 (SQ2010AA1000764006)

作者简介: 武新岩 (1986-), 女, 河北保定人, 在读硕士, 主要从事植物营养生态研究。

通讯作者: 张毅功 (1963-), 男, 辽宁法库人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事植物营养和土壤方面的研究。

68 200 hm^2 , 约占主要农作物播种面积的 21.18%^[11]。而蔬菜与其他的农作物相比, 需氮量较大, 马文奇等^[12]在调查了山东 74 个蔬菜大棚后发现, 平均化肥施用量为氮 (N) 1 782.3 kg/hm^2 、磷 (P_2O_5) 2 460.6 kg/hm^2 、钾 (K_2O) 935.8 kg/hm^2 , 是推荐施肥量的 2~6 倍。产量在 45 000~75 000 kg/hm^2 的寿光农户的黄瓜, 其化肥施用量为氮 (N) 2 117.9 kg/hm^2 、磷 (P_2O_5) 2 641.5 kg/hm^2 、钾 (K_2O) 1 344.3 kg/hm^2 , 这与同等产量的推荐施肥量相比, 超量更为严重。

人体硝酸盐是强致癌物亚硝酸胺的前体, 可诱发消化系统癌变; 在人体中硝酸盐被还原成亚硝酸盐并进入血液后, 还会与血红蛋白强有力地结合, 使其失去携氧能力^[13], 从而对人体的健康产生极大的威胁。施用氮肥是蔬菜获得高产的重要手段, 同时也是导致蔬菜体内硝酸盐富集的主要因素。合理施用氮肥不仅能使蔬菜获得较高产量, 而且能明显降低蔬菜体内硝酸盐的含量^[4-7]。许多研究表明, NH_4^+ 和 NO_3^- 有一种联合效应^[8,9]。从营养学角度来说, 硝态氮和铵态氮是植物生长的主要氮源^[10,11]。不同氮源也会影响植物碳水化合物的代谢, 以 NO_3^- 为氮源时, 利于植物蔗糖积累, 反之利于植物积累淀粉^[12]。纵观已有的研究报道, 对促进蔬菜生长的效果是以单施硝态氮为好, 还是以硝铵态氮配施为好, 目前尚无定论。有研究结果表明, 100% 的硝态氮对蔬菜生长最好, 地上部生物量最高, 稍加铵态氮后生长受抑^[5,6]; 也有试验表明, 硝态氮和铵态氮配合施用的效果优于任一单施效果, 并可以降低蔬菜的硝酸盐含量^[7,8]。

目前大多数的试验研究是通过水培来完成的, 而水培是一个厌氧环境条件, 所以水培的试验结果不适合田间生长的旱地蔬菜。笔者通过设施栽培小区试验, 研究了 5 种不同水平的铵、硝态氮对比对黄瓜不同叶位叶绿素相对含量 SPAD 值的影响, 探讨了以土壤为栽培介质, 在不同铵态氮、硝态氮配比施肥下对黄瓜光合作用的影响, 推荐了降低蔬菜体内硝酸盐含量的适宜硝、铵态氮配比方案, 通过硝态氮肥和铵态氮肥合理配施来提高蔬菜产量并降低蔬菜体内硝酸盐含量提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验地基本情况

试验于 2009 年 8-12 月在国家农业信息化工程技术研究中心精准农业试验基地进行。国家精准农业示范基地位于北京市昌平区小汤山镇, 地处北

纬 $40^\circ 10'$, 东经 $116^\circ 26'$ 。试验地土壤为潮土, 土壤中 0~20 cm 土层的全氮含量是 0.24~0.29 g/kg 有机质 3.79~5.02 g/kg 速效磷 250~290 mg/kg 速效钾 280~370 mg/kg pH 6.96~9.19

试验选用黄瓜品种为迷你 2 号。2009 年 8 月 15 号定植, 定植时选择长势一致的, 株距 40 cm, 行距 40 cm, 每小区共 28 株。田间浇水以及病虫害管理与其他大棚相同。

1.2 试验设计

试验设 5 个氮素处理: (T1) 100% 铵态氮; (T2) 25% 硝态氮 + 75% 铵态氮; (T3) 50% 硝态氮 + 50% 铵态氮; (T4) 75% 硝态氮 + 25% 铵态氮; (T5) 100% 硝态氮; 每处理重复 3 次, 随机排列, 每个小区面积为 5.2 m^2 , 共 15 个小区。供试铵态氮肥为硫酸铵 (21%), 硝态氮肥为硝酸钾 (46%), 磷肥为过磷酸钙, 钾肥为硫酸钾, 磷钾肥在播种前作为底肥施入。试验氮肥作为追肥冲施。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 选取黄瓜采收盛期中的一个晴天, 采用 Li-6400 型 (Li-Cor USA) 光合仪在自然光源下测定黄瓜初花叶位、花叶叶位和果叶叶位 3 个不同叶位叶片的净光合速率 (Pn)、蒸腾速率 (Tr)、气孔导度 (Cond)、胞间二氧化碳浓度 (Ci) 光合参数的变化, 每处理测定 3 个重复。

初花叶位是指黄瓜花还未全部展开部位对应的叶片, 花叶叶位是指黄瓜花已经展开部位对应的叶片, 果叶叶位是指黄瓜果实达到商品瓜对应部位的叶片。

1.3.2 叶片 SPAD 的测定和黄瓜果实硝态氮的测定

采用测完光合的叶片进行测定 SPAD, 硝态氮的测定采用紫外分光光度法测定果实中硝酸盐含量。

1.3.3 数据处理 采用 DPSV 7.55 软件进行数据统计分析, LSD 法进行多重比较; 采用 Microsoft Excel 2003 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥配施对不同生育时期黄瓜叶片 SPAD 值的影响

SPAD 值代表叶片的绿色程度, 研究表明, 其与叶片叶绿素含量呈显著的正相关, 可以作为作物施肥尤其是氮肥的诊断依据^[13]。选测完光合的叶片, 测定三个不同叶位叶片的 SPAD 值 (图 1)。由图 1 可知, 相同处理黄瓜叶片的不同叶位 SPAD 值差异显著, 花叶叶位的 SPAD 值要大于果叶叶位和初花叶叶位, 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4)、100%

硝态氮 (T5)表现尤为显著。不同处理间, 黄瓜初花叶叶位 SPAD 值差异不显著, 原因是初期肥料的肥效还没有表现出来; 不同处理花叶叶位的 SPAD 值差异显著, 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4)、100% 硝态氮 (T5) 处理显著高于其他的处理; 而纯硝态氮 (T5)、纯铵态氮 (T1)处理到了果叶叶片开始下降, 与其他处理果叶叶片的 SPAD 值相比相对较低。处于光合最佳功能期的花叶叶片具有完善的细胞结构和组织结构, 叶绿素、氮、可溶性蛋白都比较多, 而初花叶位叶片的结构功能尚未完全, 果叶叶位的叶片由于生长时间长, 表层的角质层比较厚, 产生了以下结果: 花叶叶片的 SPAD 较大, 果叶叶片的

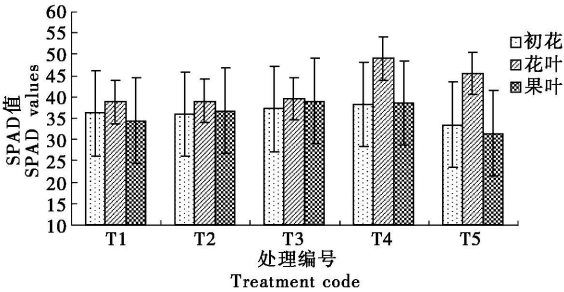


图 1 不同硝态氮、铵态氮配施对黄瓜不同叶位 SPAD 的影响

Fig 1 Effect of different ratios of nitrate-N and ammonium-N on different position SPAD of cucumber

表 1 不同叶位叶片光合速率多重比较

Tab 1 Multiple comparison on photosynthesis rate of different position leaves					$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
叶位 Leaves position	T1	T2	T3	T4	T5
初花叶位 Early flower position	13.8a	12.5b	11.6c	11.1cd	10.5d
花叶叶位 Flower position	22.9a	22.7a	21.2b	20.5b	20.4b
果叶叶位 Fruit position	20.6b	23.8a	19.3bc	17.5d	18.13cd

2.2.2 不同处理对胞间 CO_2 浓度的影响 表 2 的研究结果表明, 不同铵态氮硝态氮配施之间差异显著, 初花叶位纯硝态氮 (T5) 处理二氧化碳胞间浓度显著高于其他处理, 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4) 二氧化碳胞间浓度显著低于其他处理; 花叶叶位纯铵态氮 (T1) 二氧化碳胞间浓度显著高于其他处理, 比 25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2) 二氧化碳胞间浓度增加了 7.9%; 由于以土壤为介质时, 铵态氮肥优于硝态氮肥, 果叶叶位纯硝态氮 (T5) 显

表 2 不同处理胞间 CO_2 浓度多重比较

Tab 2 Multiple comparison on C_i of different position leaves					$\mu\text{mol}/\text{mol}$
叶位 Leaves position	T1	T2	T3	T4	T5
初花叶位 Early flower position	217c	217c	229b	216c	255a
花叶叶位 Flower position	245a	227d	241b	203e	235c
果叶叶位 Fruit position	260a	257a	228b	217c	204d

2.2.3 不同处理对气孔导度、蒸腾速率的影响 从表 3 可以看出, 氮素不同形态配施气孔导度差异显著, 初花叶位纯硝态氮 (T5) 处理显著高于其他处

理, 比 25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2) 处理气孔导度增加了 20%; 花叶叶位纯铵态氮 (T1) 处理显著高于其他处理, 比 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施

2.2 不同氮肥配施对不同生育时期黄瓜叶片光合参数的影响

2.2.1 不同处理对叶片光合速率的影响 从表 1 可以看出, 相同处理的初花、花叶、果叶光合速率的变化趋势相近, 光合速率最大的是花叶叶位, 最小的是初花叶位, 果叶叶位光合速率介于二者之间, 是由于果叶较靠近茎基部, 而这个部位的叶片生长时期长, 已进入衰老阶段, 导致光合速率较低, 而初花叶片较靠近植株顶端, 此叶片结构和功能尚未完善, 光合速率较弱, 而花叶在植株中间位置, 生命力很旺盛, 导致光合速率较大。不同铵态氮与硝态氮配施处理随着硝态氮比例的逐渐增加光合速率呈下降的趋势, 也就是说高硝态氮处理在一定程度上抑制了光合速率, 不同铵态氮与硝态氮配施处理间差异显著, 纯硝态氮 (T5) 处理的光合速率显著小于其他处理, 原因是高硝态氮处理使黄瓜叶绿体基粒片层部分被破坏, 不利于光合作用的进行。不同铵态氮与硝态氮配施对黄瓜不同叶位光合速率的影响的差异显著, 花叶叶片为光合功能叶片。

著低于其他处理, 低于纯硝态氮 (T1) 二氧化碳胞间浓度 21.5%。100% 铵态氮 (T1)、25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2)、75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4) 变化趋势相同, 果叶叶位的二氧化碳胞间浓度最高, 花叶叶位的二氧化碳胞间二氧化碳浓度次之, 初花叶位的二氧化碳胞间浓度最低; 50% 硝态氮和 50% 铵态氮配施 (T3) 花叶叶位二氧化碳胞间浓度最高; 纯硝态氮 (T5) 处理初花叶位二氧化碳胞间浓度最高。

理, 比 25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2) 处理气孔导度增加了 20%; 花叶叶位纯铵态氮 (T1) 处理显著高于其他处理, 比 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施

(T4)处理增加了 44%; 果叶叶位 25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2)处理气孔导度显著高于其他处理。纯铵态氮 (T1)、25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2)变化趋势相同, 果叶叶位气孔导度最大, 花叶叶位次之, 初花叶叶位气孔导度最小; 50% 硝态氮和 50% 铵态氮配施 (T3)、75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4)、100% 硝态氮 (T5)三处理变化呈抛物

线趋势, 花叶叶位气孔导度最大。叶片的气孔导度对蒸腾有直接的影响, 蒸腾速率变化如表 4所示, 同一处理不同叶位间的变化与气孔导度变化相同, 如上所述; 不同铵态氮硝态氮配施处理间差异显著, 也通气孔导度变化相同, 如上所述。与李伟等^[8]对黄瓜幼苗不同叶位叶片光合特性对弱光的响应结果一致。

表 3 不同处理 气孔导度多重比较

Tab 3 Multiple comparison on Cond of different position leaves						mg/(m ² ·s)
叶位 Leaves position	T1	T2	T3	T4	T5	
初花叶位 Early flower position	0.20b	0.15d	0.20b	0.17c	0.35a	
花叶叶位 Flower position	0.57a	0.45b	0.48b	0.32c	0.53a	
果叶叶位 Fruit position	0.64b	0.75a	0.36c	0.31c	0.29c	

表 4 不同处理 蒸腾速率多重比较

Tab 4 Multiple comparison on transpiration of different position leaves						mmol/(m ² ·s)
叶位 Leaves position	T1	T2	T3	T4	T5	
初花叶位 Early flower position	2.9b	2.6c	3.2b	3.1b	5.1a	
花叶叶位 Flower position	5.3bc	4.9cd	5.5b	4.6d	6.3a	
果叶叶位 Fruit position	5.3b	6.2a	4.5c	4.2c	4.7bc	

2.3 不同施肥处理对产量及品质的影响

硝酸盐含量的高低是评价蔬菜卫生安全品质的一个重要标准, 与人类的健康有十分密切的关系。由表 5可以看出, 硝酸盐含量呈开口朝上的抛物线形式, 50% 硝态氮 + 50% 铵态氮 (T3)的硝酸盐含量显著低于其他处理, 纯硝态氮 (T5)的硝酸盐含量显著高于其他处理; 各处理的可溶性蛋白, 25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2)显著高于其他处理, 其他的各处理间差异不显著; 各处理的 VC 含量差异不显

著, 50% 硝态氮和 50% 铵态氮配施 (T3)的 VC 含量最高, 纯硝态氮 (T5)的 VC 含量最低; 75% 硝态氮和 25% 铵态氮配施 (T4)中的可溶性蛋白含量显著高于其他处理, 纯硝态氮 (T5)中的可溶性蛋白含量显著低于其他处理, 各处理间的差异显著; 果实中有有机酸的含量呈开口朝下的抛物线趋势, 50% 硝态氮和 50% 铵态氮配施 (T3)中的有机酸含量显著低于其他处理, 各处理间的差异显著。

表 5 不同处理对黄瓜果实营养品质指标含量的影响

Tab 5 Effects on nutrient quality of cucumber fruits under different ratios of nitrate-N and ammonium-N					
处理 Treatments	硝酸盐含量 / (mg/kg) Nitrate content	可溶性固形物 / % Soluble solids	维生素 C / (mg/kg) VC	可溶性蛋白 / (mg/kg) Soluble protein	有机酸 / % Organic acid content
T1	187.23bc	4.07ab	37.00ab	1.64ab	0.88ab
T2	183.25c	4.3a	34.97ab	2.01b	0.77bc
T3	158.83d	3.87ab	37.10a	1.95b	0.75c
T4	195.45b	3.63b	32.27ab	3.00a	0.77bc
T5	206.4a	3.93ab	31.27b	1.37c	0.96a

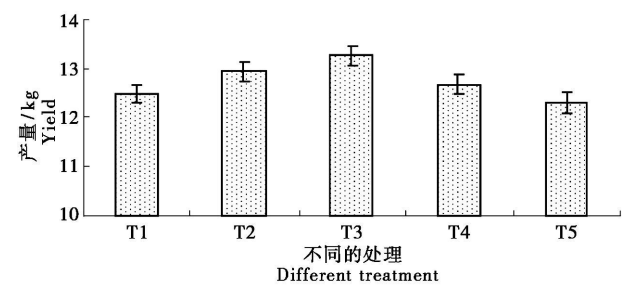


图 2 不同硝态氮、铵态氮配施对黄瓜产量的影响

Fig 2 Effect of different ratios of nitrate-N and ammonium-N on yield of cucumber

不同铵硝态氮配施对黄瓜产量的影响 (图 2),

随着铵态氮的降低, 黄瓜产量呈逐渐上升的趋势, 铵硝态氮配比为 1:1 时, 黄瓜产量达到了最大值, 随着铵态氮用量继续降低, 黄瓜产量逐渐开始下降, 各处理间差异不显著, 50% 硝态氮和 50% 铵态氮配施 (T3)产量比纯硝态氮 (T5)产量增加了 7.9%, 比纯铵态氮 (T1)产量增加了 6.3%, 合理的铵态氮肥与硝态氮肥配施能促进黄瓜产量增加。

3 讨论

黄瓜是喜 NO₃⁻-N 作物, 喜肥但不耐肥^[14]。研

究结果表明,同一氮肥处理不同的叶位差异显著,黄瓜花叶叶位的 SPAD 值最大,其次是果叶叶位,最后是初花叶位;不同处理间随着硝态氮的增加,不同叶位的差异表现的越明显,无论是初花、花叶还是果叶都随着硝态氮的增加而增大。总的来说,不同施肥配比处理间的差异不是很显著,原因可能是在施肥时选用的硫酸铵中所含的硫酸根离子对植株生长的抑制作用大于硝酸根离子^[15]。雷泽湘等^[16]对草莓的研究表明,叶绿素 SPAD 值为 27.7~44.4 时,叶片含氮量与 SPAD 值呈正相关^[16],本研究黄瓜叶片叶绿素 SPAD 值也处于上述范围。冯柱安等^[17]利用 SPAD 对烟草的研究表明,烟草叶片中叶绿素含量随营养液中铵态氮比例的加大而持续增加。此试验采用小区设施栽培,研究结果与之相反。

适宜的肥料水平有利于提高作物的光能转化效率,更能促进植株光合作用的提高。研究结果表明,经过铵态氮和硝态氮不同的配比处理之后,花叶叶位的净光合速率、气孔导度、胞间二氧化碳浓度、蒸腾速率最大,果叶的次之,初花花叶的最小,这与植株不同叶位叶片的发育时期或发育进程有关。这与前人在黄瓜^[18]、花生^[19]、水稻^[20]和向日葵^[21]等作物上的研究结果类似。

研究结果表明,铵态氮与硝态氮配施比例为 1:1 (T3)时,黄瓜果实的硝酸盐、有机酸不利呈味物质含量最低,VC 有益物质含量最高,果实产量较高;25% 硝态氮和 75% 铵态氮配施 (T2)中可溶性固形物的含量较高;25% 铵态氮和 75% 硝态氮配施 (T4)中可溶性蛋白的含量较高,可以看出铵态氮与硝态氮配合施用较单独施用效果好,而且获得较高的经济学产量和良好的品质。与罗金葵等^[4,22]利用铵硝态氮配施对蔬菜品质的影响研究结果一致。

参考文献:

- [1] 北京市统计局. 2009 年北京市统计年鉴 [J]. 北京: 中国统计出版社, 2009
- [2] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 山东省粮食作物施肥状况的评价 [J]. 土壤通报, 1999, 39(5): 217-220
- [3] 王利群, 董英, 黄达明, 等. 蔬菜硝酸盐的积累及其生理机制研究进展 [J]. 江苏农业科学, 2002(6): 78-81
- [4] 田霄鸿, 王朝辉, 李生秀. 不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质的影响 [J]. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 6-10
- [5] 王健, 孙兴祥, 沈其荣, 等. 增铵对菠菜生长及品质的影响 [J]. 土壤通报, 2006, 37(2): 326-329

- [6] 张春兰, 高祖明, 张耀栋, 等. 氮素形态和 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 配比对菠菜生长和品质的影响 [J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3): 70-74
- [7] 陈巍, 罗金葵, 姜慧梅, 等. 不同氮素形态比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响 [J]. 土壤学报, 2004(3): 420-425
- [8] 李伟. 黄瓜幼苗不同叶位叶片光合特性对弱光的响应 [J]. 中国农业科学, 2008, 41(11): 3698-3707
- [9] Shviv A, Hazan O, Neumann PM, *et al* Increasing salt tolerance of wheat by mixed ammonium nitrate nutrition [J]. J of Plant Nutrition, 1990, 13(10): 1227-1239
- [10] Marshner H. Mineral Nutrition of Higher Plants [M]. London: Academic Press, 1995: 229-312
- [11] 李生秀, 付会芳, 袁虎林, 等. 几种反映旱地土壤供氮能力方法的比较 [J]. 土壤, 1990, 22(4): 194-197
- [12] Cruz C, Lips SH, Martins-Loucao M A. The effect of nitrogen on photosynthesis of carbon at high CO_2 concentrations [J]. Physiol Plant, 1993(89): 552-556
- [13] 刘艳菊, 朱永官, 丁辉, 等. 不同氮肥水平下 SPAD 读数与菠菜硝态氮含量关系的初步研究 [J]. 农业环境科学学报, 2004, 23(3): 484-487
- [14] Alharbiar G. Growth and nutrient composition of tomato and cucumber seedlings as affected by sodium chloride salinity and supplemental calcium [J]. J Plant Nutr, 1998, 18(7): 1403-1406
- [15] 李云海, 汪海峰. 不同阴离子对黄瓜幼苗生长的效应 [J]. 中国农学通报, 2003(13): 57-60
- [16] 雷泽湘, 艾天成, 李方敏, 等. 草莓叶片叶绿素含量、含氮量与 SPAD 值间的关系 [J]. 湖北农学院学报, 2001, 21(2): 138-142
- [17] 冯柱安, 彭桂芬. 不同氮素形态对烤烟品质影响的研究 [J]. 中国烟草科学, 1998(4): 11-15
- [18] 高青海, 魏珉. 黄瓜幼苗干物质积累、膨压及光合速率对铵态氮和硝态氮的响应 [J]. 植物营养肥料学报, 2008, 14(1): 120-125
- [19] 李向东, 张高英, 万勇善, 等. 花生不同叶位叶片衰老差异的研究 [J]. 中国油料作物学报, 2003, 25(3): 46-50
- [20] 金松恒, 蒋德安. 水稻孕穗期不同叶位叶片的气体交换与叶绿素荧光特性 [J]. 中国水稻科学, 2004, 18(5): 443-448
- [21] Subrahmanyam D, Rathore V S. $^{14}\text{CO}_2$ assimilation and ^{14}C -photosynthate translocation in different leaves of sunflower [J]. Photosynthetic, 2004, 42(2): 313-316
- [22] 罗金葵, 陈巍, 沈其荣. 不同小白菜器官对氮素形态响应的生理差异 [J]. 南京农业大学学报, 2004, 27(3): 50-53