

NO₃⁻胁迫及恢复对黄瓜幼苗叶片叶绿素 荧光参数及 ATPase 活性的影响*

杨凤娟¹ 王秀峰^{1**} 魏 珉¹ 苏秀荣² 闫 童¹

(¹ 山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018; ² 山东农业大学化学与材料科学学院, 泰安 271018)

【摘要】 通过水培试验, 探讨了不同 NO₃⁻ 浓度胁迫及恢复对黄瓜幼苗叶片叶绿素含量、叶绿素荧光参数及 ATPase 活性的影响。结果表明, 胁迫 7 d 后, 高浓度 NO₃⁻ (168 mmol·L⁻¹) 可极显著提高叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量, 极显著提高初始荧光 (F_o)、Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性, 而 PS II 原初光能转化效率 (F_v/F_m)、PS II 潜在活性 (F_v/F_o) 和 PS II 光合电子传递量子效率 (ΦPS II), 却随 NO₃⁻ 浓度的增加而降低。恢复 7 d 后, 所有处理叶绿素和类胡萝卜素含量均低于对照; 初始荧光基本都恢复至对照水平; PS II 原初光能转化效率和 PS II 光合电子传递量子效率在 NO₃⁻ 浓度低于 126 mmol·L⁻¹ 时, 基本恢复至对照水平, 而高于这一水平时, 仍显著低于对照; PS II 潜在活性在 NO₃⁻ 浓度为 42 和 126 mmol·L⁻¹ 的处理基本达对照水平, 其它处理仍极显著低于对照; Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性均出现先降低后升高的变化趋势。

关键词 NO₃⁻ 胁迫 黄瓜 叶绿素 荧光参数 ATPase

文章编号 1001-9332(2006)03-0403-05 **中图分类号** S633.1 **文献标识码** A

Effects of NO₃⁻ stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters and ATPase activities of cucumber seedling leaves. YANG Fengjuan¹, WANG Xiufeng¹, WEI Min¹, SU Xiurong², YAN Tong¹ (¹College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China; ²College of Chemistry and Material Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(3): 403~407.

With water culture, this paper studied the effects of NO₃⁻ stress and recovery on the chlorophyll contents, chlorophyll fluorescence parameters, and ATPase activities of cucumber seedling leaves. The results showed that under stress for 7 days, the chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid contents, intrinsic fluorescence (F_o), and Mg-ATPase and Ca-ATPase activities were increased significantly when the NO₃⁻ concentration was high (168 mmol·L⁻¹), while the intrinsic photochemical efficiency (F_v/F_m), potential activities (F_v/F_o) and quantum yield (ΦPS II) of PS II were decreased with increasing NO₃⁻ concentration. After recovery for 7 days, the chlorophyll and carotenoid contents of all treatments with NO₃⁻ were lower than CK, while the intrinsic fluorescence, intrinsic photochemical efficiency and quantum yield of PS II were similar to CK when the NO₃⁻ concentration was ≤ 84 mmol·L⁻¹, and the F_v/F_m and ΦPS II were significantly lower than CK when the NO₃⁻ concentration was > 84 mmol·L⁻¹. The potential activity of PS II was similar to CK when the NO₃⁻ concentration was 42 and 126 mmol·L⁻¹, but significantly lower than CK in other treatments. The activities of Mg-ATPase and Ca-ATPase were decreased firstly but increased then when the NO₃⁻ concentration was > 84 mmol·L⁻¹.

Key words NO₃⁻ stress, Cucumber, Chlorophyll, Fluorescence parameters, ATPase.

1 引 言

温室蔬菜生长周期长, 复种指数高, 种植结构单一, 生产中普遍存在超量不平衡施用化肥现象, 加之土壤得不到雨水淋洗, 一般在使用 5~8 年后, 均会发生不同程度的次生盐渍化。土壤次生盐渍化是温室蔬菜生长的主要障碍^[20], 严重制约生产的可持续性, 因此早已引起人们的关注, 并成为近年来学术界

的一大研究热点。温室土壤的盐分组成特点和滨海、内陆盐土不同, 其阴离子主要是 NO₃⁻, 约占阴离子总量的 67%~76%, 阳离子则以 Ca²⁺ 为主^[3, 18, 21]。硝态氮被认为是农业环境中造成地下水污染的最重要污染源。尽管目前在探讨植物抗盐机制方面已取

* 国家自然科学基金资助项目(30471187)。

** 通讯联系人。

2005-04-01 收稿, 2005-07-11 接受。

得了长足进展,但多以 NaCl 处理作为研究手段,而对温室土壤次生盐渍化的主要阴离子 NO_3^- 在蔬菜体内的积累及伤害机理研究较少.本研究采用水培 NO_3^- 过量处理,旨在了解 NO_3^- 胁迫及恢复后黄瓜叶片叶绿素含量、叶绿素荧光参数及 ATPase 活性的变化,以便探明 NO_3^- 胁迫对黄瓜幼苗的伤害机理,为设施蔬菜生产中减少次生盐害提供理论依据.

2 材料与方法

2.1 供试材料

供试黄瓜品种为‘新泰密刺’(*Cucumis sativus*).

2.2 试验方法

试验于 2004 年 9~12 月和 2005 年 1~4 月分两茬在山东农业大学玻璃温室进行.按常规方法浸种催芽,挑选发芽整齐的种子播于装有洗净沙子的营养钵(8 cm×8 cm)中,子叶展平后,用营养液代替自来水浇灌,待幼苗长到 3 叶 1 心时,选取生长一致的健壮幼苗转移至栽培槽中,每槽(3.5 m×0.4 m×0.1 m)装营养液 100 L,定植 2 行,株行距 20 cm×22.5 cm,用充氧机充气.营养液中大量元素参照山崎配方^[7]略加修改,微量元素参照 Arnon 配方. NO_3^- 浓度用 KNO_3 调整,pH 值用 H_2SO_4 调节,保持在 5.5~6.5.试验设 5 个处理,即 NO_3^- 浓度在原营养液(NO_3^- 浓度为 14 mmol·L⁻¹)基础上,分别增加 0(对照)、42、84、126 和 168 mmol·L⁻¹.

移栽缓苗 2d 后开始处理.为防止盐刺激, NO_3^- 浓度按每天递增总浓度的 1/4,直至达到各处理预定浓度.当达到处理浓度时,更换 1 次标准处理营养液.胁迫 7 d 后取出部分植株测定各种指标,然后把剩余的植株分别转移到对照营养液(14 mmol·L⁻¹ NO_3^-)中,恢复 7 d 后测定各种指标.各种营养液渗透势见表 1.

表 1 营养液渗透势

Table 1 Osmotic potential of solution (MPa)

NO_3^- 浓度 NO_3^- concentration (mmol·L ⁻¹)	处理开始 Treatment beginning	胁迫 7 d Stress for 7 days	开始恢复 Begin recovery	恢复 7 d Recovery for 7 days
0	-0.22	-0.226	-	-0.163
42	-0.328	-0.351	-	-0.177
84	-0.498	-0.516	-0.22	-0.172
126	-0.647	-0.654	-	-0.170
168	-0.793	-0.749	-	-0.158

2.3 测定方法

渗透势测定参照邹琦^[24]的方法进行前处理,用 5520 型蒸汽压渗透仪测定.叶绿素和胡萝卜素含量采用分光光度法测定^[22];叶绿素荧光参数的测定采用英国 Hansatech 公司生产的 FMS2 脉冲调制式荧光仪,分别于胁迫和恢复 7 d 后,选取见光一致的上数第 3 片平展叶,将叶片充分暗适应 20 min,测定初始荧光(F_0)、最大荧光(F_m)及光系统 II 的光化学效率(F_v/F_m). ΦPSII 的计算参照 Demming-Adams^[5]和

Genty 等^[6].每处理测 5 株,即重复 5 次,取平均值.叶片光合磷酸化反应活力 ATPase 的测定参照植物生理生化实验原理和技术^[12].生理生化指标均取上数 2~3 片叶进行测定,重复 3 次,求平均值.所有数据均采用 Duncan 新复极差法^[1]进行显著性检验.

3 结果与分析

3.1 NO_3^- 胁迫及恢复后黄瓜叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

由图 1 可知,胁迫 7 d 后, NO_3^- 浓度在 0~84 mmol·L⁻¹ 范围内,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量逐渐升高.42 和 84 mmol·L⁻¹ 处理叶绿素 a 含量分别比对照高 8.38% 和 34.94%,而叶绿素 b 含量分别高出 20.95% 和 58.80%,总色素含量分别高出 11.31% 和 54.54%.当 NO_3^- 浓度达 126 mmol·L⁻¹ 时,叶绿素含量稍有降低,但仍比对照高.高浓度 NO_3^- (168 mmol·L⁻¹) 可极显著地提高叶绿素含量,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量分别比对照高 56.28%、190.52% 和 140.39%.恢复 7 d 后,所有处理叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量均低于对照,而且当 NO_3^- 浓度达 126 mmol·L⁻¹ 时,其含量显著下降.

由图 1 还可以看出,胁迫 7 d 后,当 NO_3^- 浓度为 42 mmol·L⁻¹ 时,类胡萝卜素含量高出对照 13.02%,再高于这一浓度,反而开始降低,达 126 mmol·L⁻¹ 时,比对照降低 8.22%,而高浓度 NO_3^- (168 mmol·L⁻¹) 可极显著提高类胡萝卜素含量,比对照提高 64.20%.恢复 7 d 后,所有处理类胡萝卜素含量均低于对照,42、84、126 和 168 mmol·L⁻¹ 处理类胡萝卜素含量分别低 6.32%、37.38%、79.70% 和 61.08%.以上说明, NO_3^- 胁迫对黄瓜幼苗叶绿素和类胡萝卜素造成的伤害很难在短时间内恢复.

3.2 NO_3^- 胁迫及恢复对黄瓜叶绿素荧光参数的影响

根据 Genty 等^[6]的定义,叶绿体开放反应中心的光化学量子效率(ΦPSII)是正比例于非循环电子传递速率,可以反映出 PS II 的活性.表 2 表明,胁迫 7 d 后,所有处理初始荧光(F_0)都有所升高,而且随 NO_3^- 浓度的增加,处理与对照间差异达极显著水平,当 NO_3^- 浓度达 168 mmol·L⁻¹ 时,比对照高出 28.64%.PS II 原初光能转化效率(F_v/F_m)、PS II 潜在活性(F_v/F_0)和 PS II 光合电子传递量子效率

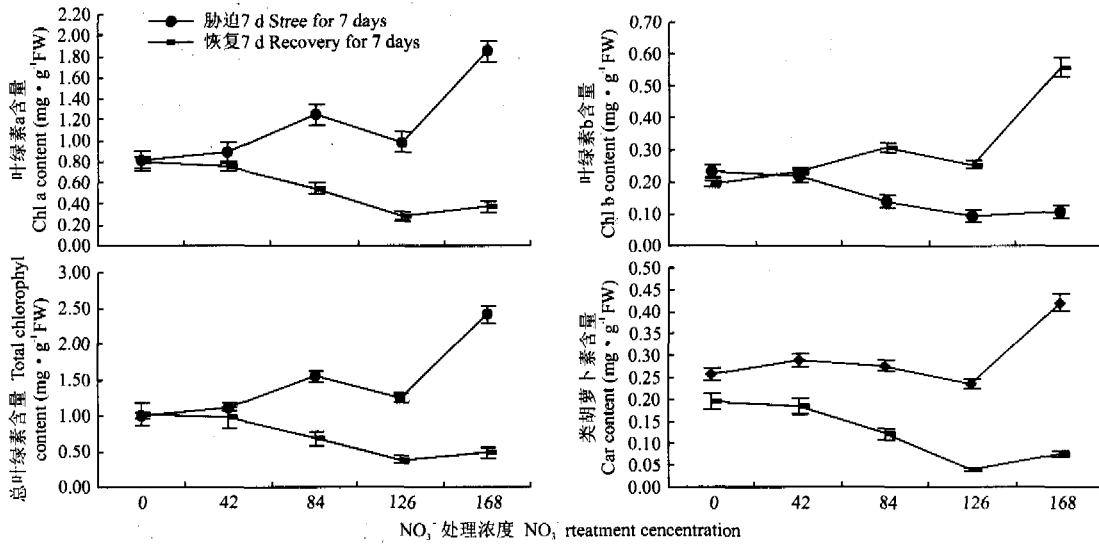


图 1 NO₃⁻胁迫及恢复后黄瓜幼苗叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的变化

Fig. 1 Changes of chlorophyll and carotenoid contents in cucumber seedling leaves under NO₃⁻ stress and recovery.

表 2 NO₃⁻胁迫及恢复后对黄瓜幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effects of NO₃⁻ stress and recovery on chlorophyll fluorescence parameters in cucumber seedling leaves

NO ₃ ⁻ 浓度 NO ₃ ⁻ concentration (mmol · L ⁻¹)	F ₀		F _v /F _m		F _v /F ₀		ΦPS II	
	胁迫 7 d Stress for 7 days	恢复 7 d Recovery for 7 days	胁迫 7 d Stress for 7 days	恢复 7 d Recovery for 7 days	胁迫 7 d Stress for 7 days	恢复 7 d Recovery for 7 days	胁迫 7 d Stress for 7 days	恢复 7 d Recovery for 7 days
0	208.333 ^{cC}	175.000 ^{aA}	0.851 ^{aA}	0.847 ^{aA}	5.724 ^{aA}	5.331 ^{aA}	0.822 ^{aA}	0.798 ^{aA}
42	232.333 ^{bB}	173.000 ^{aA}	0.849 ^{aA}	0.843 ^{bA}	5.025 ^{bAB}	5.341 ^{aA}	0.815 ^{aA}	0.787 ^{aA}
84	229.000 ^{bB}	153.000 ^{bB}	0.839 ^{bB}	0.845 ^{abA}	5.279 ^{abA}	3.363 ^{bB}	0.815 ^{aA}	0.787 ^{aA}
126	262.500 ^{aA}	175.000 ^{aA}	0.826 ^{cC}	0.804 ^{cB}	4.204 ^{cBC}	5.034 ^{aA}	0.745 ^{bAB}	0.725 ^{bA}
168	268.000 ^{aA}	179.000 ^{aA}	0.781 ^{dD}	0.774 ^{dC}	3.687 ^{cC}	3.891 ^{bB}	0.712 ^{bB}	0.737 ^{bA}

不同大、小写字母分别表示在 0.01 和 0.05 水平的差异显著性 Different capital and small letters indicate significance at 0.01 and 0.05 level, respectively.

(ΦPS II) 却随 NO₃⁻ 浓度的增加而降低, 而且当 NO₃⁻ 浓度高于 84 mmol · L⁻¹ 时, 差异达极显著水平, 而当 NO₃⁻ 浓度达 168 mmol · L⁻¹ 时, F_v/F_m、F_v/F₀ 和 ΦPS II 分别比对照降低 8.28%、35.60% 和 13.33%。恢复 7 d 后, 初始荧光 F₀ 除 NO₃⁻ 浓度为 84 mmol · L⁻¹ 的处理稍低于对照外, 其它处理基本都恢复到对照水平; PS II 原初光能转化效率和 PS II 光合电子传递量子效率却在 NO₃⁻ 浓度低于 126 mmol · L⁻¹ 时, 基本恢复至对照水平, 高于这一水平, 仍显著低于对照; PS II 潜在活性在恢复 7 d 后, 除 NO₃⁻ 浓度为 42 和 126 mmol · L⁻¹ 的处理基本达对照水平, 其它两个处理仍极显著低于对照, 以上说明, NO₃⁻ 胁迫对初始荧光造成的影响在很短时间即可恢复, 而高浓度 NO₃⁻ (≥126 mmol · L⁻¹) 对 PS II 原初光能转化效率、潜在活性和光合电子传递量子效率的影响很难在短时间恢复。

3.3 NO₃⁻胁迫及恢复对黄瓜 ATPase 活性的影响

叶绿体偶联因子 ATPase 是分布在叶绿体类囊体膜表面的一种复合蛋白, 在光合作用能量转换反

应中起重要作用. 图 2 可知, 胁迫 7 d 后, 叶绿体 Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性均随 NO₃⁻ 浓度的增加而升高, 42、84、126 和 168 mmol · L⁻¹ 处理 Mg-

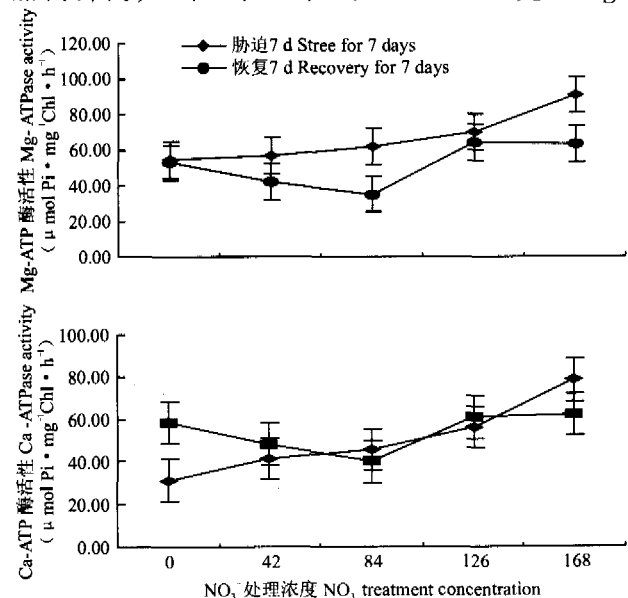


图 2 NO₃⁻胁迫及恢复后对黄瓜幼苗叶片 ATPase 活性的影响

Fig. 2 Effects of NO₃⁻ stress and recovery on ATPase activity in cucumber seedling leaves

ATPase 分别比对照高 3.86%、13.35%、27.81% 和 66.87%，而 Ca-ATPase 活性分别比对照高 32.96%、46.57%、79.47% 和 151.00%。恢复 7 d 后，Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性均出现先降低后升高的变化趋势，当处理浓度分别为 126 和 168 mmol·L⁻¹ 时 Mg-ATPase 活性分别比对照升高 21.11% 和 19.71%；Ca-ATPase 活性分别升高 3.75% 和 6.17%。由此说明，高浓度 NO₃⁻ 有利于提高光合磷酸化反应活力 Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性；恢复 7 d 后，低浓度 NO₃⁻ (≤84 mmol·L⁻¹) 胁迫下的 ATPase 活性很难在短时间内恢复，而高浓度 NO₃⁻ (≥126 mmol·L⁻¹) 胁迫下的 ATPase 活性很快能恢复到对照水平。

4 讨 论

N 是植物合成蛋白质、核酸及各种生理活性物质的重要成分^[13,14]。N 代谢是叶绿体内依赖于光合电子传递、仅次于 CO₂ 同化之外的另一个重要光合反应(photosynthetic reaction)^[9,15]。以植物体内 C/N 比平均为 7~10 估算，光反应产生的还原电子大约 20%~25% 用于 NO₃⁻ 的同化^[8,11]。体外 NO₃⁻ 作为植物可利用的一种主要结合态氮素形式，对植物的生长，特别是对光合 C 代谢和 N 代谢产生较大的影响。本试验结果表明，N 作为叶绿素的成分，即使在高浓度 NO₃⁻ 胁迫下，叶绿素和类胡萝卜素含量仍随 NO₃⁻ 浓度的增加而升高，高 NO₃⁻ (168 mmol·L⁻¹) 也可极显著提高黄瓜幼苗叶片叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量。叶绿体偶联因子 Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 作为光合磷酸化反应活力的重要指标，其活性也随 NO₃⁻ 浓度的增加而升高。以上说明，较高 NO₃⁻ 浓度为黄瓜幼苗进行更好的光合提供了前提。恢复 7 d 后，由于营养液中 NO₃⁻ 浓度的降低，所有处理叶绿素和类胡萝卜素含量均低于对照，而 Mg-ATPase 和 Ca-ATPase 活性却出现先降低后升高的变化趋势。由此说明，恢复 7 d 后，叶绿素和类胡萝卜素的合成速率明显低于降解速率，光合磷酸化反应活力也随之有所降低。

叶绿体中的叶绿素均以叶绿素蛋白质复合体的形式存在。高等植物中，叶绿素蛋白质复合体可分为 PS II 核心复合体、PS II 捕光色素复合物、PS I 核心复合体和 PS I 捕光色素复合物。Berges 等^[2] 指出 PS I 和 PS II 对缺氮处理的反应是不同的，缺 N 对 PS I 的影响甚微，而对 PS II 的影响最大，使 PS II 反

应中心蛋白含量下降或使蛋白降解^[10]。有人把 NO₃⁻ 的还原和同化称为叶绿体内仅次于 CO₂ 同化的光合过程，1 mol NO₃⁻ 通过光合电子传递链可以释放出 2 mol O₂^[11]。离体大麦叶片通过蒸腾流引入 NO₃⁻ 后，在 CO₂ 同化速率不受影响的情况下光合放氧速率提高了 20%~25%。研究表明，这种额外的 O₂ 释放不是由于碳水化合物氧化还原过程中产生的 CO₂ 重新固定，而是源于光合 NO₃⁻ 的同化^[23]，说明一定浓度 NO₃⁻ 的还原和同化可以提高 PS II 化学效率。反之，缺 N 或低 N 处理可能降低 PS II 化学效率和光合速率，但如果浓度过高也起负作用，随着培养时间的延长，高 N (40 mmol·L⁻¹ NO₃⁻) 处理中所有品种在饱和光强下的 F_v/F_m 和 ΦPS II 均显著低于对照^[17]。

叶绿素荧光参数 F₀、F_v/F_m、F_v/F₀ 和 ΦPS II 分别是反映初始荧光、PS II 最大光化学效率、PS II 潜在活性和叶片在光下 PS II 光合电子传递量子效率的重要指标。谭新星等^[16] 报告，缺 N 营养条件下培养的大麦的 F_v/F_m 值低于正常生长的大麦。董彩霞等^[17] 也指出，高浓度硝酸钙导致高蛋白小麦幼苗叶片叶绿素荧光参数 F_v/F_m 和 ΦPS II 下降。本试验结果表明，胁迫 7 d 后，初始荧光随 NO₃⁻ 浓度的增加而升高，而 PS II 原初光能转化效率、PS II 潜在活性和 PS II 光合电子传递量子效率却相反，这与 NaCl 胁迫下的研究结果基本类似^[19]。出现这种现象的原因可能有多种，我们推测可能是由于低 NO₃⁻ 浓度下培养的幼苗体内叶绿素含量大大低于高 NO₃⁻ 浓度处理，为了充分利用光能，就必须提高电子传递效率，这可能是植物本身所具有的适应性。对这一现象，有待进一步研究。恢复 7 d 后，初始荧光基本都恢复至对照水平，而 PS II 原初光能转化效率和 PS II 光合电子传递量子效率却在 NO₃⁻ 浓度低于 126 mmol·L⁻¹ 时，基本恢复至对照水平，当高于这一水平时，仍显著低于对照。PS II 潜在活性，除 NO₃⁻ 浓度为 42 和 126 mmol·L⁻¹ 的处理基本达对照水平，其它处理仍极显著低于对照。

参考文献

- 1 Bai H-Y (白厚义), Xiao J-Z (肖俊章). 1998. *Experimental Research and Statistical Analysis*. Xi'an: World Book Press. 125-126 (in Chinese)
- 2 Berges JA, Charlebois DO, Mauzerall DC, et al. 1996. Differential effects of nitrogen limitation on photosynthetic efficiency of photosystems I and II in microalgae. *Plant Physiol*, 110: 689-696
- 3 Chen D-M (陈德明), Yang J-S (杨劲松). 1995. The condition and nutrient manage of soil salinization. *Prog Soil Sci (土壤学进展)*,

- 23(5):7~13(in Chinese)
- 4 Cui J-B(崔剑波), Zhuang J-P(庄季屏). 1997. Soil NO₃⁻-N transport under field unsaturated flow condition - A simulation study. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 8(1):49~54(in Chinese)
 - 5 Demming Adams B. 1990. Carotenoids and photoprotection in plants: A role for the xanthophylls zeaxanthin. *Biochim Biophys Acta*, 1020:1~24
 - 6 Genty B, Briantais JM, Baker NR. 1989. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. *Biochim Biophys Acta*, 990:87~92
 - 7 Guo S-R(郭世荣). 2004. Soilless Culture. Beijing: China Agricultural Press. 114(in Chinese)
 - 8 Huppe HC, Farr TJ. 1994. Coordination of chloroplastic metabolism in N-limited chlamydomonas reinhardtii by redoxmodulation. *Plant Physiol*, 105:1043~1048
 - 9 Kaiser WM, Brendle-Behnisch E. 1991. Rapid modulation of spinach leaf nitrate reductase activity by photosynthesis. *Plant Physiol*, 96:363~367
 - 10 Kolber Z, Falkowski PG. 1993. Effects of growth irradiance and nitrogen limitation on photosynthetic energy conversion photosystem II. *Limnol Oceanog*, 38:1646~1665
 - 11 Larsson M, Ingemarsson B, Larsson CM. 1982. Photosynthetic energy supply for NO₃⁻ assimilation in *Scenedesmus*. *Plant Physiol*, 55:301~308
 - 12 Li H-S(李合生). 2000. Experiment Theory and Technique of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: Higher Education Press. 220~223(in Chinese)
 - 13 Ma X-M(马新明), Wang Z-Q(王志强), Wang X-C(王小纯), et al. 2004. Effects of nitrogen forms on roots and N fertilizer efficiency of different wheat cultivars with specialized end-uses. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 15(4):655~658(in Chinese)
 - 14 Sui F-G(隋方功), Wang Y-H(王运华), Chang Y-C(长友诚), et al. 2002. Effect of fertilization on the qualities of sweet pepper in greenhouse culture. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), 13(1):63~66(in Chinese)
 - 15 Syrett PJ. 1981. Nitrogen metabolism of microalgae. *Can Vull Fish Aqua Sci*, 210:182~210
 - 16 Tan X-X(谭新星), Xu D-Q(许大全), Tang Z-S(汤泽生). 1996. Leaf photosynthesis and chlorophyll fluorescence in phyll-deficient mutant of barley. *Acta Phytophysiol Sin* (植物生理学报), 22(1):51~57(in Chinese)
 - 17 Tong C-X(董彩霞), Zhao S-J(赵世杰), Tian J-C(田纪春). 2002. Effects of different concentration of NO₃⁻ on the chlorophyll fluorescence parameters in seedling leaves of high protein wheat cultivars. *Acta Agron Sin* (作物学报), 28(1):59~64(in Chinese)
 - 18 Tong Y-W(童有为), Chen D-F(陈淡飞). 1991. Study on form and exploitation way of soil salinization in greenhouse. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 18(2):159~162(in Chinese)
 - 19 Wang Z-H(王征宏), Kong X-S(孔祥生), Lu S-F(吕淑芳). 2003. Changes of organic substance and fluorescence parameter under salt stress in soybean. *J Hennan Univ Sci Technol* (Agric Sci) (河南科技大学学报·农学版), 23(4):30~34(in Chinese)
 - 20 Xue J-C(薛继澄), Bi D-Y(毕德义). 1995. Effects of nitrate accumulation of soil on growth and manganese concentration of pepper in protected cultivation. *J Nanjing Agric Univ* (南京农业大学学报), 18(1):53~57(in Chinese)
 - 21 Xue J-C(薛继澄), Bi D-Y(毕德义), Li J-J(李家金). 1994. Soil types and countermeasure of vegetable physiological obstacle in protective field. *Soil Fert* (土壤肥料), (1):4~9(in Chinese)
 - 22 Zhao S-J(赵世杰), Liu H-S(刘华山), Dong X-C(董新纯). 1998. Experiment Directions of Plant Physiology. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. 68~72(in Chinese)
 - 23 Zhen Z-F(郑朝峰). 1986. Effects of N form on lutamine synthetase in wheat leaf. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), (4):46~48(in Chinese)
 - 24 Zou Q(邹琦). 1997. Experiment Directions of Plant Physiology and Biochemistry. Beijing: China Agricultural Press.

作者简介 杨凤娟,女,1977年5月生,在读博士研究生.主要从事设施园艺与无土栽培研究. E-mail: beautyyfj@163.com

责任编辑 肖红
