植物营养与肥料学报 2006,12(3):382-387
Plant Nutrition and Fertilizer Science

氮、磷、钾用量和配比对温室黄瓜叶片相关代谢酶活性的影响

李冬梅，魏 珉*，张海森，王秀峰
(山东农业大学园艺科学与工程学院，山东泰安 271018)

摘要：以氮、磷、钾配比 1:0.5:1.2 为对照，研究了不同氮、磷、钾用量和配比对温室无土栽培黄瓜叶片部分代谢关键酶活性的影响。结果表明，增加氮素的用量和配比，黄瓜株高、茎粗、植株干重均先升后降，硝酸还原酶活性显著增强，蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶和 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性先升后降；增加磷素用量和配比，株高、茎粗、植株干重随之增大，硝酸还原酶活性先升后降，但蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶及 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性显著升高；同时增加氮、磷用量和配比可显著提高硝酸还原酶、蔗糖磷酸合成酶以及 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 的活性，但显著降低蔗糖合成酶活性；增加钾素用量和配比对黄瓜株高、茎粗和植株干重影响较小，适当增钾显著或极显著提高硝酸还原酶、蔗糖合成酶和 Ca^{2+}-ATPase 的活性，Mg^{2+}-ATPase 活性升高不明显，进一步增加钾素用量和比例，上述酶活性均显著降低；增钾对蔗糖磷酸合成酶活性的影响不显著。

关键词：氮、磷、钾用量和配比；黄瓜；代谢酶
中图分类号：S642.206　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)03-0382-07

Effects of NPK rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber in greenhouse

LI Dong-mei, WEI Min*, ZHANG Hai-sen, WANG Xiu-feng
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China*)

Abstract: Using ratio of $N:P_2O_5:K_2O = 1:0.5:1.2$ as control, effects of different NPK rates and ratios on activities of metabolism enzymes in leaves of cucumber (*Curcumas sativa* L.) soilless-cultured in greenhouse were studied. The results showed that an increasing the rate and ratio of nitrogen caused plant height, stem diameter, and seedling dry weight, first to increase and then to fall; NR(nitrate reductase) activity in leaf rose significantly while SS(sucrose synthetase), SPS (sucrose phosphate synthetase) and Mg^{2+}, Ca^{2+}-ATPase activities first increased and then fell. When more phosphorus was applied, plant height, stem diameter and plant dry weight increased correspondingly, so did the activities of SS, SPS and Mg^{2+}, Ca^{2+}-ATPase, but the NR activity rose then fell. The NR, SPS and Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase activities at higher nitrogen and phosphorus ratios were remarkably higher than those in CK, however SS activity decreased significantly at the same time. Increasing the rate and ratio of potassium had fewer influences on plant height, stem diameter, dry weight and leaf SPS activity; while NR, SS and Ca^{2+}-ATPase activities remarkably increased when potassium rate was 2 times the control, Mg^{2+}-ATPase activity rosed slightly; However, activities of enzymes mentioned above decreased when the rate and ratio of potassium increased to 4 times the control.

Key words: NPK rate and ratio; cucumber; metabolism enzymes

设施蔬菜生产是在相对可控环境条件下进行的集约化生产，是一种人为作用十分强烈的土地利用方式。在促进设施蔬菜增产增收的诸多措施中，施肥仍是最有效的途径之一。为此，生产中部分菜农

收稿日期：2005-01-28　　**修改稿收到日期**：2005-06-20
基金项目：国家"十五"科技攻关课题(2001BA503B04)；山东省优秀中青年科学家科研奖励基金项目(2004BS06012)资助。
作者简介：李冬梅(1980—)，女，山东郓城人，硕士，主要从事设施蔬菜与无土栽培方面的研究。* 通讯作者

为了追求高产，获取单纯的经济效益，往往存在盲目、超量和不平衡施肥现象[1]。长期连作、不合理施肥不仅容易导致设施土壤质量变劣，发生次生盐渍化，而且施肥过多、养分失衡也会直接影响蔬菜的正常生长发育，降低产量和品质[2]。因此，科学合理施肥对于保持设施蔬菜高效生产和可持续发展具有重要意义。

碳、氮代谢是植物体内重要的两类代谢过程，与植物的生长发育、产量品质形成密切相关[3]。作物在生长生育过程中按照自身需求吸收氮、磷、钾等矿质元素，通过体内的同化和运输，在植株不同部位通过特定的代谢过程发挥作用，这些代谢过程的最终体现是作物生长的均衡和协调程度、产量的高低以及品质的优劣。硝酸还原酶（Nitrate reductase，NR）是植物氮代谢的关键酶之一[4-6]，所催化的反应 $NO_3^- + NADP + H^+ \quad NO_2^- + NAD^+ + H_2O$ 是 NO_3^- 同化为 NH_4^+ 的限速步骤[4]。蔗糖合成酶（Sucrose synthetase，SS）和蔗糖磷酸合成酶（Sucrose phosphate synthetase，SPS）是碳代谢的两种关键酶[7-9]，与光合产物的积累和转化关系密切。三磷酸腺苷（ATP）参与养分的主动转运过程，是植物代谢的能量物质，ATP 酶（Adenosine triphosphatase，ATPase）与能量代谢相偶联，在光合作用、物质吸收和运输、生长发育等方面起着重要作用[10]。因此，研究矿质营养与体内碳、氮代谢关键酶的关系，对于揭示作物的营养代谢机理和生长发育规律具有重要意义。前人对小麦、甜菜等大田作物已有较多的研究报道[4,6-7,11-14]，但针对设施蔬菜的研究较少。

黄瓜是设施主栽作物之一，对养分需求相对严格，研究氮、磷、钾用量和配比与黄瓜叶片部分代谢关键酶活性的关系，探讨不合理施肥对黄瓜生育代谢过程的影响，有利于从一个侧面揭示温室蔬菜连作障害的机理，同时为科学施肥提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2004 年 8～10 月在山东农业大学校内温室进行。供试品种为新泰密刺黄瓜。根据黄瓜矿质营养吸收规律及适宜施肥量的研究结果[15-16]，设计 8 个处理，以日本园试配方中氮的 1/2 剂量作为该试验营养液氮的基础浓度，以处理 1 即 $N:P_2O_5:K_2O$ 配比 1:0.5:1.2 为对照，在此基础上分别增加或减少氮、磷、钾的用量形成不同配比组合（表 1）。8 月 20 日播种，用 Φ 8 cm × h8 cm 塑料钵育苗，以蛭石为基质，每天喷浇 1 次营养液。配制营养液的大量元素肥料种类及其用量见表 2，微量元素采用通用配方[17]。营养液 pH 5.8～6.2，EC 2.06～3.26 mS/cm。

1.2　测定项目及方法

黄瓜幼苗长至 4 叶 1 心时，每处理选取整齐一致的幼苗 6 株，取第 2、3 片功能叶测定酶活性。6 叶 1 心时取样 10 株测定植株的高度、茎粗和干物重。

1.2.1　硝酸还原酶活性测定：参照赵世杰等[18]提出的活体法。

1.2.2　蔗糖合成酶、蔗糖磷酸合成酶活性测定：参照苏丽英等[19]的方法并稍加改进。酶液提取：取 1g 左右预冷的黄瓜叶片，加入 10 mL 0.1 mol/L pH 7.5 的磷酸缓冲液（含 5 mmol/L $MgCl_2$、1 mmol/L EDTA-Na_2、0.1% 巯基乙醇、0.1% Triton × 100）于研钵中快速研磨成糊状，倒入离心管中，在低温冷冻离心机上 9440 r/min 离心 10 min，所得上清液用于酶活性测定。以上提取过程均在 4 ℃下进行。

蔗糖合成酶合成方向活性测定：取 200 μL 酶液，加入反应介质（含 50 μL pH 7.5 磷酸缓冲液、20 μL 50 mmol/L $MgCl_2$、20 μL 100 mmol/L UDP-G、20 μL 100 mmol/L D-果糖），30 ℃下水浴 30 min 后，沸水浴 5 min，加 0.2 mL 40% NaOH 混匀，再沸水浴 10 min，冷却，加入 1.5 mL HCl 和 0.5 mL 1%间苯二酚溶液，摇匀，80 ℃水浴 10 min，冷却，于 470 nm 下比色。活性单位以每克鲜重每小时生成的磷酸蔗糖毫克数表示[mg/(g·h)，FW]。

蔗糖磷酸合成酶活性测定：取 200 μL 酶液，加入反应介质（含 50 μL pH 7.5 磷酸缓冲液、20 μL 50 mmol/L $MgCl_2$、20 μL 100 mmol/L UDP-G、20 μL 100 mmol/L Fru-6-P），30 ℃下水浴 30 min 后，沸水浴 5 min，加 0.2 mL 40% NaOH 混匀，再沸水浴 10 min，冷却，加入 1.5 mL HCl 和 0.5 mL 1%间苯二酚溶液，摇匀，80 ℃水浴 10 min，冷却，于 470 nm 下比色。活性单位以每克鲜重每小时生成的磷酸蔗糖毫克数表示[mg/(g·h)，FW]。

1.2.3　Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性测定[20]

叶绿素制备与测定：取黄瓜叶片 10 g 左右，加入 20 mL 0 ℃下预冷的 STN 缓冲液（0.05 mol/L Tris - HCl pH 7.8 缓冲液，内含 0.4 mol/L 蔗糖、0.01 mol/L NaCl）于研钵中研磨成浆，四层纱布过滤去残渣，滤液于 0～2 ℃下 200 r/min 离心约 1 min，上清液再于 1500 r/min 离心 5～7 min，取沉淀悬浮于少量 STN（pH 7.8）中，使叶绿素含量在 0.5 mg/mL 左

表1 氮、磷、钾用量和配比设计水平

Table 1 Design of N, P, K rates and ratios

处理 Treatments	N	P_2O_5	K_2O	$N:P_2O_5:K_2O$	$NO_3^-N:NH_4^+-N$
	(mmol/L)				
1	7.000	0.345	1.250	1:0.5:1.2	121.50:1
2	14.000	0.345	1.250	1:0.25:0.6	2.94:1
3	28.000	0.345	1.250	1:0.125:0.3	1.65:1
4	7.000	0.690	1.250	1:1:1.2	0.31:1
5	7.000	1.380	1.250	1:2:1.2	2.23:1
6	7.000	0.345	2.500	1:0.5:2.4	2.04:1
7	7.000	0.345	5.000	1:0.5:4.8	98.00:0
8	14.000	1.380	0.630	1:1:0.3	11.02:1

表2 营养液中大量元素肥料的种类和用量(mg/L)

Table 2 Rates of macro element fertilizers in nutrient solution

处理 Treatments	硝酸钾 KNO_3	磷酸氢二铵 $(NH_4)_2HPO_4$	磷酸二氢钾 KH_2PO_4	硝酸铵 NH_4NO_3	硫酸钾 K_2SO_4	硝酸钙 $Ca(NO_3)_2\cdot4H_2O$	硫酸镁 $MgSO_4\cdot7H_2O$
1	182.7	—	93.9	4.3	—	600.0	246.0
2	182.7	—	93.9	284.3	—	600.0	246.0
3	182.7	—	93.9	844.3	—	600.0	246.0
4	113.1	—	187.8	32	—	600.0	246.0
5	—	34.5	340.0	55.8	—	600.0	246.0
6	193.7	—	93.9	—	208.2	600.0	246.0
7	193.7	—	93.9	—	643.0	600.0	246.0
8	—	198.5	170.7	242.3	—	600.0	246.0

右。取0.1 mL叶绿体加0.9 mL水和4 mL丙酮(分析纯),离心,取上清液于652 nm测光吸收。

Mg^{2+}-ATPase的激活与反应:取已制备好的叶绿体悬浮液1 mL,加入1 mL Mg^{2+}-ATPase激活液,在室温白炽光50000 Lx下激活6 min。取激活后的叶绿体悬浮液0.5 mL,加入0.5 mL Mg^{2+}-ATPase反应液,置37 ℃水浴中保温10 min,加入0.1 mL 20%三氯乙酸停止反应,离心。

Ca^{2+}-ATPase的激活与反应:取已制备好的叶绿体悬浮液1 mL,加入1 mL Ca^{2+}-ATPase激活液,置20 ℃水浴中保温激活10 min,加入牛血清蛋白(10 mg/mL)0.1 mL停止激活。而后的反应过程与Mg^{2+}-ATPase的反应过程相同。

无机磷的测定:取Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase激活与反应步骤离心后的上清液0.5 mL加入2.5 mL蒸馏水,摇匀后加入2 mL硫酸亚铁-钼酸铵试剂,于室温放置1 min显色,660 nm下比色。

以上所有测定均重复3次。数据处理采用DPS数据处理系统,并用Duncan's新复极差测验法进行多重比较分析。

2 结果与分析

2.1 对黄瓜生长和干物质积累的影响

从表3可知,增加氮素的用量和配比,黄瓜株高呈"先升后降"变化趋势,处理2较对照增加22.7%,处理3较对照减少25.2%,彼此差异显著,说明适量增氮有利于促进黄瓜幼苗生长,但是4倍增氮后长势明显减弱。增加磷素显著促进了黄瓜生长,处理4、5与对照差异显著。增钾也有利于黄瓜生长,但其效果低于增磷。除增氮至对照的4倍显著降低了幼苗茎粗外,其余处理与对照没有显著差异。

干物重在一定程度上代表了植株同化产物的累积量,即生物学产量。从表3可以看出,适量增氮明显增加植株的干重,但超量增氮却使植株干重降低,处理3的单株干重只有对照的88.4%,差异显著。随着磷素用量和配比的增大,植株干重增加,且用量和比例越大效果越明显。同时增加氮磷用量和配比对提高植株干重效果显著。可见,增施氮、磷促进了

黄瓜同化物质的制造和积累。增钾黄瓜幼苗干重呈升高趋势，但与对照间没有明显差异。

表 3　氮、磷、钾用量和配比对黄瓜幼苗生长和干物重的影响

Table 3　Effects of N, P, K rates and ratios on growth and dry weight of cucumber seedling

处理 Treatment	株高 Plant height (cm)	茎粗 Stem diameter (cm)	植株干重 Dry weight of plant(g)
1	19.50 e	0.71 a	1.64 d
2	23.93 c	0.72 a	2.09 b
3	15.57 f	0.66 b	1.45 e
4	25.57 b	0.74 a	1.73 d
5	28.43 a	0.76 a	2.25 ab
6	19.93 e	0.72 a	1.85 cd
7	21.63 d	0.72 a	1.76 d
8	23.13 cd	0.73 a	2.33 a

注：不同字母表示差异达 5% 显著水平上。

Note: Different letters mean significant at 5% level.

2.2　对黄瓜叶片硝酸还原酶(NR)活性的影响

NR 是植株体内 NO_3^- 同化过程中的限速酶，不仅对作物的氮素吸收和利用起关键作用，而且与作物的光合、呼吸和碳素代谢关系密切。由图 1 可以看出，随着氮素用量和配比的增加，NR 活性逐渐升高，其中处理 3 较处理 1 提高 90.9%，差异极显著。NR 活性随磷素用量和比例的增加呈“先升后降”变化趋势，其中处理 4 比对照高出 35.3%，差异极显著，但处理 5 的 NR 活性与对照无异。增钾后 NR 的活性变化同样呈“先升后降”趋势，处理 6 的 NR 活性为 23.25 $NaNO_2$ μg/(g·h)，FW，显著高于对照，但处理 7 与对照差异不显著。处理 8 的 NR 活性与处理 3 无异，但极显著高于处理 2 和处理 5，说明同时提高氮、磷用量和配比具有累加效应。

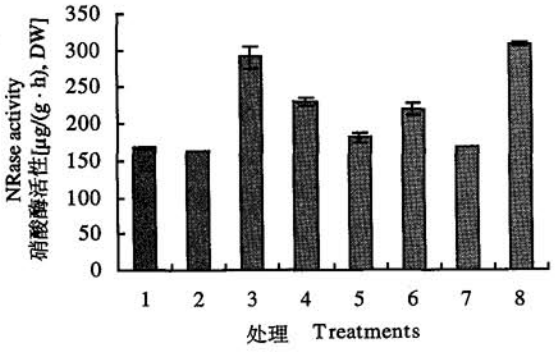

图 1　不同处理对黄瓜叶片 NR 活性的影响

Fig.1　Effect of different treatments on NR activity in cucumber leaf

2.3　对黄瓜叶片蔗糖合成酶(SS)和蔗糖磷酸合成酶(SPS)活性的影响

SS 和 SPS 是植物碳代谢的关键酶。蔗糖合成酶有分解和合成两个方向，其合成方向的活性变化见图 2。氮素用量和比例提高 1 倍，SS 活性极显著升高，较对照增加 17.8%，但氮素用量和比例提高 3 倍时蔗糖合成酶活性又下降至对照水平。提高磷素的用量和比例可极显著地增加 SS 的活性，处理 4、5 的活性分别比处理 1 高出 12.3% 和 21.0%。随着钾素用量和比例的增加，SS 活性呈“先升后降”变化，处理 6、7 的活性极显著地高于处理 1，且两者之间呈显著差异。处理 8 的蔗糖合成酶活性显著低于对照。

SPS 主要存在于植物的绿色光合器官中，催化蔗糖的合成[16]。增氮可以极显著地促进 SPS 的活性，但 4 倍用量的促进效果不如 2 倍用量。SPS 活性随磷素用量和比例的增加而增强，均与处理 1 差异显著。增加钾素用量和配比，SPS 活性无明显变化。处理 8 的 SPS 活性极显著高于处理 1，与处理 2 无异，但显著高于处理 5。

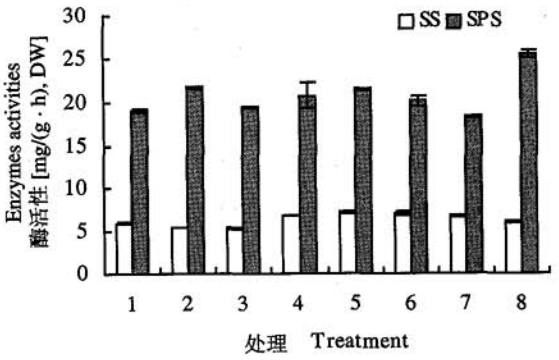

图 2　不同处理对黄瓜叶片 SS、SPS 活性的影响

Fig.2　Effects of different treatments on SS、SPS activities in cucumber leaf

2.4　对黄瓜叶片 Mg^{2+}-ATPase 和 Ca^{2+}-ATPase 活性的影响

叶绿体偶联因子腺苷三磷酸酶是与叶绿体膜结合的复合蛋白，参与细胞膜的主动转运过程，催化光合磷酸化，调节叶绿体内第二信使钙离子的水

平[21]，进而调节细胞的伸长和分裂、酶的分泌等一系列生理过程[22]。图3看出，氮、磷、钾用量和配比对 Mg^{2+}-ATPase 和 Ca^{2+}-ATPase 活性的影响不尽相同。氮素用量提高至对照的2倍可极显著提高 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性，但当用量提高至对照的4倍时活性却下降至对照水平。增加磷素可显著提高 Mg^{2+}-ATPase 的活性，并可极显著提高 Ca^{2+}-ATPase 活性，但处理4和处理5之间没有明显差异。钾素用量为对照的2倍时，Mg^{2+}-ATPase 活性无明显变化，但 Ca^{2+}-ATPase 活性极显著升高，钾素用量和配比进一步增大，两种酶的活性均开始降低，可见钾素过多对 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性有不利影响。处理8的 Mg^{2+}-ATPase 活性显著高于对照，Ca^{2+}-ATPase 活性较对照提高50.6%，差异极显著。

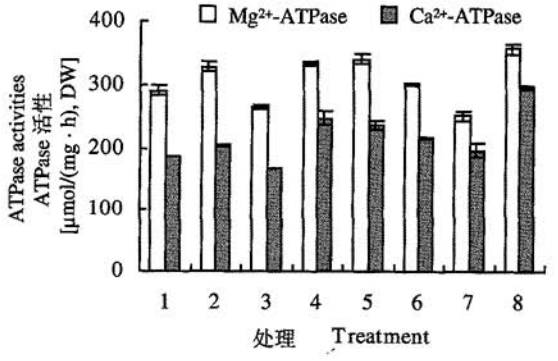

图3 不同处理对黄瓜叶片 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATP 酶活性的影响

Fig.3 Effects of different treatments on Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase activities in cucumber leaf

3 讨论

NR 是一种诱导酶，因此，随着氮素特别是 NO_3^- 用量和比例的增加，其活性逐渐增强。适当增加磷、钾的用量和配比可促进光合作用中间产物—磷酸糖类的合成，磷酸糖类经糖酵解产生 NADP 可用于 NO_3^- 还原，从而提高 NR 活性；磷、钾过多不利于上述产物的形成，降低 NR 活性[21]。

试验表明，氮素用量增加1倍，SS 和 SPS 活性均显著升高，用量和配比进一步增大，SS 活性显著下降，SPS 活性亦呈降低趋势。可能原因为：高氮处理的 NO_3^- 含量远高于其它处理，而过量氮素尤其是硝态氮可增强 SS 分解方向的活性，减弱合成方向的活性[23]；另一方面，氮素过量对光合作用具有负面效应，可减少光合产物的合成，且大部分光合产物与氮形成蛋白质，导致受光合产物和蛋白质磷酸化调节的 SPS 活性下降[13,24]。磷用量和配比与 SS、SPS 活性呈显著正相关，这是因为蔗糖的合成需要 ATP、Pi、ADPG 和 UDPG 等参与，磷是上述物质的主要组分。适量增钾促进叶片光合作用和糖代谢，提高 SS 和 SPS 活性；过量施钾后两种酶的活性降低可能与 NO_3^- 有关，处理7的 NO_3^- 含量为98.0 mg/L，比处理6高出48.9%，NO_3^- 作为一种代谢信号，激活细胞内上述两种酶蛋白的激酶，降低酶蛋白含量，使碳流由合成蔗糖转向合成氨基酸，SS、SPS 活性随之减弱[9]。

植物叶绿体内源无机磷酸盐含量影响 ATPase 的活性，含量减少，ATPase 活性降低，反之则活性升高[25]。增加磷素可以提高无机磷酸盐的含量，使 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性升高；而且，磷可直接参与光合代谢，有利于 ATP 形成[26-27]。适当增加氮素用量，在氮代谢增强的同时使能量代谢得到促进；另一方面，增加氮素可以促进植物对磷的吸收，使 ATP 合成加速[26]，显著提高上述两种酶的活性，但氮素用量和配比过大将对植株代谢产生抑制。适量增钾条件下，K^+ 作为伴随阳离子可促进和加强植物对氮和磷的吸收与运输[14]，在一定程度上提高 ATP 酶活性，但根际 K^+ 过多会抑制植物对 Mg^{2+}、Ca^{2+} 的吸收，导致 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性下降[22,24]。

植物的生长发育是一系列代谢过程的综合体现，碳、氮代谢是植物体内最基本的两类代谢过程，其变化动态直接影响着光合产物的制造和转化、矿质营养的吸收以及蛋白质的合成等。氮代谢需要碳代谢提供碳源和能量，而碳代谢又需要氮代谢提供酶和光合色素，二者相互关联，且需要共同的还原力、ATP 和碳骨架。本试验结果表明，与对照相比，氮素用量增加1倍或者增加磷素的用量和配比时，SS、SPS、NR 和 Mg^{2+}、Ca^{2+}-ATPase 活性均有不同程度的提高，其中多数达到显著或极显著差异水平，这说明适当增氮或增磷有效地促进了黄瓜体内的物质和能量代谢过程，为快速生长奠定了良好基础。从表3可以看出，这些处理的黄瓜幼苗株高和干物质积累量都明显高于对照。氮素用量增至4倍后，黄瓜幼苗的生长势减弱，干物质积累减少，表明超量施用氮肥对植株生育和代谢产生了抑制。

参考文献：

[1] 李俊良，崔德杰，孟祥霞，等.山东寿光保护地蔬菜施肥现状及问题的研究[J].土壤通报，2002，33(2)：126-128.

Li J L, Cui D J, Meng X X *et al*. The study of fertilization condition

and question in protectorate vegetable in Shouguang, Shandong [J]. Chinese J. of Soil Sci., 2002, 33(2): 126-128.

[2] 李远新，李进辉，何莉莉，等. 氮、磷、钾配施对保护地番茄产量及品质的影响[J]. 中国蔬菜，1997(4): 10-13.
Li Y X, Li J H, He L L *et al*. The Effect of N, P, K mixed application on yields and quality of tomato in solar greenhouse [J]. China Vegetables, 1997(4): 10-13.

[3] Huber J L, Huber S C, McMichael R W Jr *et al*. Modulation of nitrate reductase activity by protein phosphorylation [J]. Curr Top Plant Biochem. Physiol., 1993(12): 7-8.

[4] 宋建民，田纪春，赵世杰. 小麦光合碳、氮代谢平衡调节酶研究进展[J]. 麦类作物学报，1997，17(6): 52-55.
Song J M, Tian J C, Zhao S J. Recent research and development on *immobilization of enzyme of photosynthetic carbon, nitrogen metabolism* balance [J]. J. of Triticeae Crops, 1997, 17(6): 52-55.

[5] Huber S C, Huber J L, Kaider W M. Differential response of nitrate reductase and sucrose phosphate synthase activation to inorganic and organic salts, in vitro and in situ [J]. Plant Physiol., 1994(92): 302-310.

[6] 李春喜，张根发，石惠恩，石有民. 氮肥对小麦硝酸还原酶活性和籽粒蛋白质含量变化动态的影响[J]. 西北植物学报，1995，15(4): 276-281.
Li C X, Zhang G F, Shi H E, Shi Y M. Effects of nitrogen on the dynamic change of nitrate reductase activity and grain protein content of wheat [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 1995, 15(4): 276-281.

[7] 王月福，于振文，李尚霞，余松烈. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报，2002, 28(6): 743-748.
Wang Y F, Yu Z W, Li S X, Yu S L. Effect of nitrogen nutrition on the change of key enzyme activity during the nitrogen metabolism and kernel protein content in winter wheat[J]. Acta Agronomica Sinica, 2002, 28(6):743-748.

[8] 张智猛，戴良香，胡昌浩，等. 氮素对不同类型玉米蛋白质及其组分和相关酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005, 11(3): 320-326.
Zhang Z M, Dai L X, Hu C H *et al*. Effects of nitrogen on the protein, protein constituents and relevant enzymes activity of maize [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(3): 320-326.

[9] Champigny M L, Foyer C. Nitrate activation of cytosolic protein kinases photosynthetic carbon from sucrose to amino acid biosynthesis [J]. Plant Physiol., 1992 (100): 7-12.

[10] 李宏. ATPase 的研究进展[J]. 渝州大学学报(自然科学版)，1994，11(2): 55-65.
Li Hong. Recent research and development on ATPase [J]. J. of Yuzhou University (Nat. Sci. Edit.), 1994, 11(2): 55-65.

[11] 曲文章，崔杰，高妙贞，等. 施氮量对甜菜氮代谢及产量与品质的影响[J]. 中国甜菜，1994(4): 16-21.
Qu W Z, Cui J, Gao M Z *et al*. Effect of nitrogen application amount on nitrogen metabolism, yield and quality in sugar beet [J]. China Sugarbeet, 1994(4): 16-21.

[12] 赵越，马凤鸣，王丽艳，刘涧洋. 不同氮源对甜菜蔗糖合成酶的影响[J]. 黑龙江农业科学，2001(2): 11-12.
Zhao Y, Ma F M, Wang L Y, Liu J Y. Influence of nitrogen sources on sucrose synthetase (SS) in sugarbeet [J]. Heilongjiang Agri. Sci., 2001, (2): 11-12.

[13] 赵越，魏自民，马凤鸣. 铵态氮对甜菜蔗糖合成酶和蔗糖磷酸合成酶的影响[J]. 中国糖料，2003(3): 1-5.
Zhao Y, Wei Z M, Ma F M. Influence of ammoniacal nitrogen on sucrose synthase and sucrose phosphate synthase in sugar beet [J]. Sugar Crops of China, 200, (3): 1-5.

[14] 郭熙盛，叶舒娅，王文军，等. 钾肥品种与用量对黄瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2004，10(3): 292-297.
Guo X S, Ye S Y, Wang W J *et al*. Effect of different K sources and rates on the yield and quality of cucumber [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(3): 292-297.

[15] 段崇香，于贤昌. 有机基质栽培黄瓜化肥施用技术的研究[J]. 植物营养与肥料学报，2003，9(2): 238-241.
Duan C X, Yu X C. Techniques of application of chemical fertilizer for cucumber cultivated in organic substrate under solar greenhouse [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(2):238-241.

[16] 于淑芳，高贤彪，卢丽萍. 高效节能型日光温室黄瓜养分的吸收规律[J]. 中国蔬菜，2000(5): 10-11.
Yu S F, Gao X B, Lu L P. The study on nutrient absorption of cucumber in chinese lean to solar greenhouse [J]. China Vegetables, 2000(5): 10-11.

[17] 连兆煌. 无土栽培原理与技术[M]. 北京：中国农业出版社，1992.
Lian Z H. Theory and technology of soilless culture[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1992.

[18] 赵世杰，刘华山，董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业科技出版社，1998.
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. Plant physiology experimental instruction [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1998.

[19] 苏丽英，吴勇，於新建，等. 水稻叶片蔗糖磷酸合成酶的一些特性[J]. 植物生理学报，1989, 15(7): 135-142.
Su L Y, Wu Y, Yu X J *et al*. Characters of leaf sucrose phosphate synthase in rice [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1989, 15(7): 135-142.

[20] 上海植物生理学会. 植物生理学实验手册[M]. 上海：上海科学技术出版社，1982.
Shanghai Society for Plant Physiology. Handbook for plant physiological experiments [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1982.

[21] 李杨瑞. 甘蔗叶片细胞器的 Mg^{2+}-ATPase 和 Ca^{2+}-ATPase 活性[J]. 植物生理学通讯，1987，23(6): 20-22.
Li Y R. Activity of Mg^{2+}-ATPase and Ca^{2+}-ATPase in organelle of sugarcane leaves [J]. Plant Physiological Communications, 1987, 23(6): 20-22.

下转第 393 页]

[上接第 387 页]

[22] 张金红,吴隽平,魏继中,等.稀土元素 Pr^{3+}、Nd^{3+} 对蚕豆(*Vicia faba*)叶片原生质膜上 Ca^{2+}、Mg^{2+}-ATPase 活性的影响[J].生物化学杂志,1992,8(2):195-200.

Zhang J H, Wu J P, Wei J Z *et al*. The effect of rare earth elements Pr^{3+}, Nd^{3+} on activity of leaf membrane Ca^{2+}, Mg^{2+}-ATPase in *Vicia faba* [J]. Chinese J. of Biochem, 1992, 8(2): 195-200.

[23] 李德全,赵会杰,高辉远.植物生理学[M].北京:中国农业科技出版社,1999.

Li D Q, Zhao H J, Gao H Y. Plant physiology [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.

[24] 魏家绵,李德耀,任汇森.内源无机磷酸盐对叶绿体 Mg^{2+}-ATP 酶功能的调节[J].植物生理学报,1995,21(2):105-110.

Wei J M, Li D Y, Ren H M. The regulation of endogenous inorganic phosphate in chloroplasts on its Mg^{2+}-ATPase function [J]. Acta Phytophysiologica Sinica, 1995, 21(2): 105-110.

[25] Russo V M. Planting date, fertilizer rate and harvest timing affect yield of jalapeno and banana pepper [J]. Hortscience, 1996, 31(7): 1124-1125.

[26] Charles D J, Decoteau D R. Nitrogen and potassium fertility affects jalapeno pepper plant growth, pod yield and pungenoy [J]. Hortscience, 1996, 31(7): 1119-1123.

[27] 沈同,王镜岩.生物化学下册(第二版)[M].北京:高等教育出版社,2002.

Shen T, Wang J Y. Biochemistry(The second edition)[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.