植物营养与肥料学报 2006,12(5):711－716
Plant Nutrition and Fertilizer Science

硝铵比例影响小白菜生长和叶绿素含量的原因探究

张攀伟，罗金葵，陈 巍*，沈其荣
(南京农业大学资源与环境科学学院,江苏南京 210095)

摘要：采用溶液培养试验研究了不同 NO_3^-:NH_4^+ 比例，分别为 5.00:0.00、3.75:1.25、2.50:2.50、1.25:3.75 和 0.00:5.00 (mmol/L)对小白菜生长和叶绿素含量的影响及其原因。结果表明，1)与纯硝营养相比，NO_3^-:NH_4^+ 为 3.75:1.25 (mmol/L)时，小白菜具有最大的生物量、叶面积和叶片细胞分裂素含量；2)SPAD 值、叶片可溶性蛋白质和活性铁含量均随着铵态氮比例的增加而增加；3)叶片细胞分裂素含量与叶面积、叶面积与生物量间的相关显著，相关系数(r)分别为 0.97、0.95($P<0.05$)；SPAD 值与叶片可溶性蛋白质以及和活性铁含量之间的相关系数(r) 分别为 0.99 和 0.97($P<0.05$)。适当提高铵态氮比例可以增加小白菜叶面积可能是因提高了叶片细胞分裂素含量从而促进其扩展，进而影响生物量；提高铵态氮比例可以提高叶绿素含量，与提高了叶片蛋白质和活性铁的含量有关。

关键词：硝铵比例；小白菜；细胞分裂素；活性铁；可溶性蛋白质
中图分类号：S634.3；S143.1　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)05-0711-06

Influence of NO_3^- : NH_4^+ ratio on growth and chlorophyll content in pakchoi

ZHANG Pan-wei, LUO Jin-kui, CHEN Wei*, SHEN Qi-rong
(*College of Resource and Environmental Sciences, Nanjing Agric. Univ., Nanjing 210095, China*)

Abstract: An experiment with solution culture was carried out to investigate the effects of NO_3^- : NH_4^+ ratio (5.00:0.00, 3.75:1.25, 2.50:2.50, 1.25:3.75 and 0.00:5.00 in mmol/L) on growth and chlorophyll content in pakchoi. Results obtained are listed as following: 1) Pakchoi had a maximum biomass, leaf area and cytokinins content contrast to pure nitrate nutrition cultivated at NO_3^- : NH_4^+ ratio equivalent to 3.75:1.25 in mmol/L ; 2) SPAD readings, content of soluble protein and active iron in leaf enhanced with increasing of NH_4^+ -N proportion; 3) Cytokinins content was significantly correlated with leaf area ($r=0.97$, $P<0.05$), and the leaf area was significantly correlated with biomass ($r=0.95$, $P<0.05$); SPAD readings was significantly correlated with soluble protein content and active iron content, with correlation coefficients (r) being 0.99 and 0.97($P<0.05$), respectively. Properly increasing ammonium proportion influenced leaf area. The possible underlying mechanism was that it increased cytokinins content, then leaf blade expanded which influenced biomass of pakchoi consequently; Increasing ammonium proportion also influenced chlorophyll content because it enhanced soluble protein and active iron content which consequently increased chlorophyll-protein compounds content.

Key words: NO_3^- : NH_4^+ ratios; pakchoi; cytokinins; active iron; soluble protein

关于不同氮素形态对作物生长和品质的影响已经多有报道。大多的研究表明，生长介质中存在适当比例的混合氮素营养，不仅可以明显促进作物对水分和养分的吸收，有利于作物的生长，增加产量[1-2]，而且可以降低作物体内硝酸盐含量和改善品质[3-5]。在实际生产中，由于施入土壤的硝态氮

收稿日期：2005-06-06　　**修改稿收到日期**：2005-09-08
基金项目：国家自然科学基金项目(30270790)资助。
作者简介：张攀伟(1982—)，女，山东省肥城市人，硕士研究生，主要研究方向为蔬菜氮素营养。* 通讯作者

不能及时被植物吸收利用,容易随水体运动引起地下水的污染,给环境造成压力,并引起氮素利用率的降低。而硝铵混施后则可以降低硝态氮的施入,缓解环境的压力。

相对于单一的硝态氮营养,不同硝铵比例可能是通过影响作物体内的碳、氮代谢过程,从而影响作物的生长及品质的形成。混合氮素营养对作物生长生理的影响主要表现在:适当比例的混合氮营养可以提高根系活力[6];提高叶绿素含量和叶片的光合能力[7-8];增加光合面积[9-11]。但是对于混合氮素营养调控作物生长的具体原因却一直存在较大争议。为此,本试验旨在前人研究基础上,从更深层次上尝试寻找不同硝铵比例影响小白菜光合面积和叶绿素含量的原因,为进一步研究增铵营养促进作物生长的机理,及指导生产实际提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

溶液培养试验在南京农业大学温室进行,以不结球小白菜品种抗热605为供试材料。试验设 NO_3^-:NH_4^+ 浓度比为5.00:0.00、3.75:1.25、2.50:2.50、1.25:3.75和0.00:5.00(mmol/L)5个处理,每个处理3次重复,每个重复包括定植于5 L周转箱内的10棵小白菜。营养液为修改了的Hoagland-Arnon营养液,P、K浓度分别为1、5 mmol/L; Fe以Fe-EDTA配入,浓度为2.8 mg/L; 同时还加入7 μmol/L的二氰胺($C_2H_4N_4$)抑制铵态氮硝化。营养液每周更换一次,用增氧泵连续增氧,同时每天用稀 H_2SO_4 和NaOH将pH调至6.4左右。于小白菜6叶1心时收获。

1.2 测定项目与方法

叶面积测定:于收获的前一天,采用CI-203 LASER AREA METER测定,每个周转箱选8片最上部完全展开叶测定。

SPAD值的测定:在收获当天用日产的SPAD-502型叶绿素仪测定完全展开叶的SPAD值,每箱选8片做重复。

细胞分裂素含量的测定:称取液氮冷冻的功能叶片2.00 g左右,按照10 mL/g的比例加入80 %的甲醇(V/V)冰浴研磨,转移至50 mL的离心管后低温下用超声波超30 min。随后10,000 r/min下离心10 min,把上清液收集在烧杯中待用。用研磨液清洗残渣(5 mL/ g的比例),涡旋离心,收集上清液(重复2到3次)。40℃下将收集液蒸发浓缩至约10 mL后用等体积的石油醚萃取3次,留水层。再加入PVP(0.1 g/g)振荡30 min,抽滤,用乙酸调pH到3.0左右后用等体积的乙酸乙脂萃取3次,留水相。随后用弱碱把pH调至8.0左右,用水饱和正丁醇萃取3次取醇相。40℃下再次蒸发浓缩后过OASIS柱子,先用0.1 mol/L的乙酸4 mL清洗去杂质,再分别用4 mL的甲醇乙酸混合液(甲醇:0.1 mol/L乙酸=25:75)和75%甲醇洗脱,洗脱液40℃下旋转蒸发至约1 mL后用液相色谱的流动相定容至5 mL,上液相色谱测定[12]。

叶片活性铁测定:取切碎的功能叶片鲜样2.0 g左右,按1:10的比例用1mol/L HCl浸提,连续振荡5h后过滤,用AAS法测定[13-14]。

叶片可溶性蛋白质含量测定:取功能叶片的鲜样0.5 g左右用5 mL蒸馏水研磨成匀浆,1000 r/min下离心10 min,然后取上清液0.5 mL与0.5 mL去离子水和5 mL考马斯亮蓝溶液充分混匀,放置2 min后在595 nm下比色,测定吸光值,计算蛋白质含量[15]。

所有数据采用SAS软件统计,方差分析采用Fisher's-test (PLSD)。

2 结果分析

2.1 硝铵比例对小白菜生长的影响

2.1.1 硝铵比例对小白菜生物量的影响 硝铵比例对小白菜生物量影响差异显著(图1)。相对于单一的硝态氮营养,营养液中 NO_3^-:NH_4^+ 为3.75:1.25(mmol/L)时,生物量增加了30%;但 NO_3^-:NH_4^+ 为2.50:2.50(mmol/L)时,生物量稍有增加,但未达到显著水平;当 NO_3^-:NH_4^+ 为1.25:3.75(mmol/L)时,生物量显著下降了近50%;而纯铵营养下的生物量已经下降了85%。说明对于喜硝作物小白菜而言,取得最大的生物量所需的 NO_3^-:NH_4^+ 为3.75:1.25(mmol/L)。

2.1.2 硝铵比例对小白菜叶面积的影响 图2看出,随着铵态氮比例的加大,小白菜叶面积先增大后减小,当 NO_3^-:NH_4^+ 为3.75:1.25(mmol/L)时,小白菜的叶面积达到最大,是纯硝营养下的130%;而纯铵下的叶面积却只有其43%。说明在营养液中适当地提高铵态氮浓度可以促进小白菜叶片的生长,增加光合面积。而纯铵培养则明显抑制小白菜叶片的扩展。

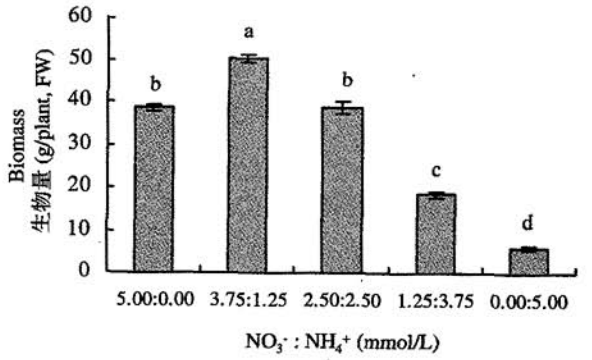

图 1　硝铵比例对小白菜生物量的影响

Fig.1　Effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios on the biomass of pakchoi

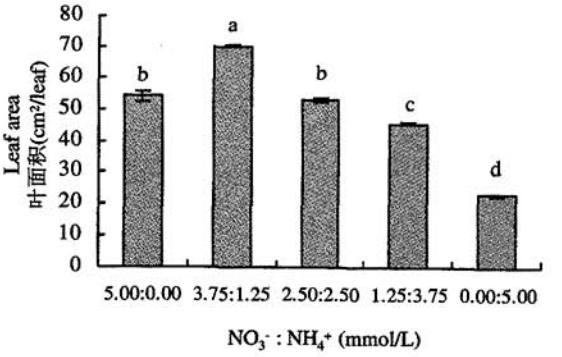

图 2　硝铵比例对小白菜叶面积的影响

Fig.2　Effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios on leaf area of pakchoi

[柱图上的误差线表示标准误差 Vertical bars represent standard error (n = 3)；
不同字母表示差异显著性($P < 0.05$, PLSD)，下同 Different letters mean asignificance at $P < 0.05$ by PLSD, same as follows]

2.1.3　硝铵比例对小白菜叶片细胞分裂素含量的影响　小白菜叶片中细胞分裂素含量随硝铵比例变化的情况(图 3)表明，相对于单一的硝态氮营养，营养液中 NO_3^- : NH_4^+ 为 3.75 : 1.25(mmol/L) 时，细胞分裂素含量最大，但是增加程度不显著；营养液中 NO_3^- : NH_4^+ 为 2.50 : 2.50(mmol/L) 时，细胞分裂素含量稍有降低，但是没有达到显著水平。继续提高铵态氮的比例，其含量开始显著降低。纯铵营养下，细胞分裂素含量远远小于其它处理，只有纯硝下的 45.1%，达到显著差异。

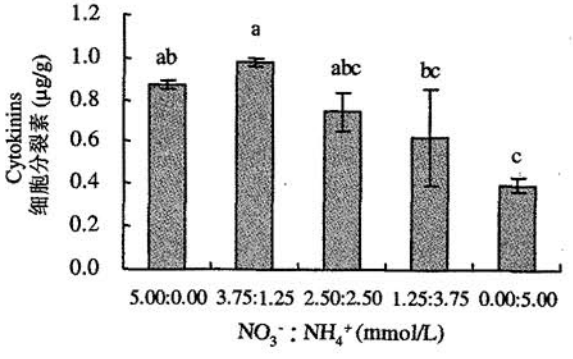

图 3　硝铵比例对小白菜叶片细胞分裂素的影响

Fig.3　Effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios on cytokinins in leaf of pakchoi

2.2　硝铵比例对小白菜叶绿素含量的影响

2.2.1　硝铵比例对小白菜叶片叶绿素 SPAD 值的影响　硝铵比例对小白菜叶片叶绿素 SPAD 值的影响差异显著。SPAD 值随着营养液中铵态氮浓度的加大而持续增加。铵态氮浓度为 1.25、2.50、3.75、5.00 mmol/L 时，小白菜 SPAD 值分别是纯硝营养的 106%、115%、125%、140%。说明提高铵态氮比例促进了 SPAD 值的增加，即铵态氮的增加有利于叶绿素含量的提高(图 4)。

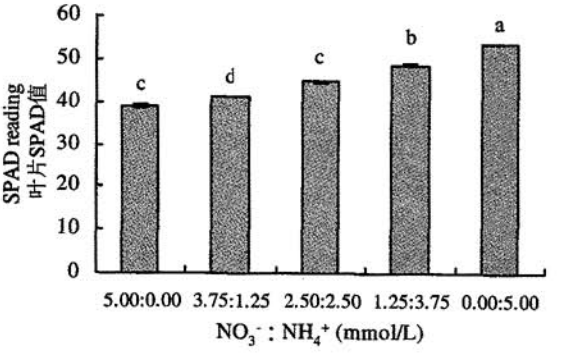

图 4　硝铵比例对小白菜 SPAD 值的影响

Fig.4　Effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios on SPAD values of pakchoi

2.2.2　硝铵比例对小白菜叶片中活性铁和可溶性蛋白质含量的影响　表 1 看出，硝铵比例对小白菜叶片中活性铁含量和可溶性蛋白质含量的影响差异

表 1　硝铵比例对叶片中活性铁和可溶性蛋白质含量的影响

Table 1　Effects of NO_3^- : NH_4^+ ratios on the content of active iron and soluble protein in leaves of pakchoi

NO_3^- : NH_4^+ (mmol/L)	活性铁含量 Active iron (mg/ kg, FW)	可溶性蛋白质含量 Soluble protein (mg/g, FW)
5.00:0.00	7.71 ± 0.20 d	1.04 ± 0.07 c
3.75:1.25	10.63 ± 0.70 c	1.09 ± 0.20 c
2.50:2.50	11.44 ± 0.21 c	2.35 ± 0.28 b
1.25:3.75	12.59 ± 1.40 b	3.16 ± 0.20 b
0.00:5.00	15.60 ± 0.59 a	4.13 ± 0.23 a

显著。随着铵态氮浓度的持续增加，小白菜叶片中活性铁含量和可溶性蛋白质含量都随之增加。纯铵营养下小白菜活性铁和可溶性蛋白质含量是纯硝下的2倍和4倍，说明供应铵态氮有利于叶片中活性铁和蛋白质含量的提高。

3 讨论

许多研究结果表明，在总氮浓度一定的情况下，适当地提高铵态氮比例可以增加作物的产量[3,16]。

本试验结果表明，当营养液中的 $NO_3^-:NH_4^+$ 为3.75:1.25(mmol/L)时，小白菜获得最大的生物量，增产近30%。说明相对于纯硝营养，在营养液中适当地增加铵态氮明显促进作物生物量的积累。

光合生产的总干物量取决于叶片的光合速率、维持光合功能的时间和光合面积(叶面积)的大小[17]，增加光合面积是实现生物量增加的重要手段之一。叶片的生长是细胞不断分裂的结果，细胞分裂素的主要作用是促进细胞的分裂和生长。Gao等[18]认为，氮素形态对植物的影响可能是由于不同形态氮素影响了细胞分裂素等内源植物激素；Wang和Below等[19]对小麦研究结果也发现，纯的硝态氮或铵态氮营养栽培下单株分蘖数较混合氮素的少，而通过施用细胞分裂素可以达到混合氮素的分蘖数，施用混合氮素营养和施用细胞分裂素取得相同的效果，这可能是由于混合氮素营养增加了植株内细胞分裂素含量，从而达到促进生长的结果。Walch-Liu等[20]的研究结果也表明，24h纯铵培养后的烟草木质部汁液细胞分裂素浓度下降了60%，这说明叶片的细胞分裂过程或能力受到抑制。本试验结果表明，用 $NO_3^-:NH_4^+$ 为3.75:1.25(mmol/L)的营养液培养时小白菜叶面积最大，并且随着硝铵比变化叶面积(图2)与生物量(图1)两者变化趋势相同，呈显著的正相关($r=0.95$, $P<0.05$)；随着硝铵比的变化叶片中细胞分裂素含量(图3)与叶面积(图2)两者变化趋势相同，二者之间也存在显著的正相关性($r=0.97$, $P<0.05$)。说明营养液中适当提高铵态氮比例促进了叶片中细胞分裂素的积累，扩大叶面积，实现了生物量的增加。但是铵态氮比例继续增加时，细胞分裂素的含量反而下降，叶面积也随之减小。有研究指出，纯铵营养抑制叶片细胞的分裂和扩大，叶片扩展的受抑制不是由于铵毒害，而是由于缺少硝态氮[20]。作者认为提高铵态氮比例时，一方面营养液中硝态氮浓度减小，另一方面铵态氮抑制硝态氮的吸收，使得植物体内不能积累足够的硝酸盐，抑制了细胞分裂素的积累。

光合效率的提高是实现增产的又一重要途径。绿色植物叶片光能利用率的高低与叶片叶绿素含量的多少直接相关，因此研究植物叶片的叶绿素含量意义重大[21]。研究发现，SPAD值(Soil and Plant Analyzer Development，即土壤、作物分析仪器开发)与植物中叶绿素含量存在很好的正相关性[21-22]。本试验结果表明，小白菜叶片SPAD值随着营养液中铵态氮浓度的加大而增大，说明铵态氮有利于叶绿素的积累。叶绿体中的所有色素都是与蛋白质相连成复合体的形式存在的[23]，小白菜叶片中可溶性蛋白含量与SPAD值(叶绿素含量)之间具有良好的正相关性($r=0.99$, $P<0.05$)。Raab等[24]曾报道，纯铵培养相对于纯硝营养可以使叶片可溶性蛋白含量提高数倍；Tam和Wong[25]的实验结果也表明，高浓度铵态氮培养的绿藻有较高的叶绿素和蛋白质含量。进一步说明了营养液中铵态氮浓度的增加促进了叶绿素—蛋白复合体的形成，增加了叶绿素含量。

在不同形态氮素比例影响叶绿素合成的研究中，铁的作用日益受到重视。在多种植物体内，大部分铁存在于叶绿体中，缺铁时叶绿体结构被破坏，从而使叶绿素不能合成[26]。白亚君等[27]认为 Fe^{2+} 在叶片中用于叶绿素的生物合成和各种含铁酶，它不是叶绿素的组成部分，但却是叶绿素生物合成必需的。叶绿素含量不仅与全铁含量有关，而且与活性铁的含量关系更加密切[28-29]。本试验结果表明，小白菜叶片中活性铁的含量随着硝铵比例的下降而持续增加，叶片中活性铁含量随着硝铵比例的变化(表1)趋势与SPAD值(叶绿素含量)变化(图4)的趋势相似，相关系数达0.97($P<0.05$)。作者认为，铵态氮浓度的增加，提高了叶片中活性铁含量，使得叶片中铁的活性和循环利用率增加，并稳定了叶绿体结构，从而有利促进了叶绿素含量的增加。

参考文献：

[1] 张富仓，康绍忠，李志军．氮素形态对白菜硝酸盐积累和养分吸收的影响[J]．园艺学报，2003，30(1)：93-94.
Zhang F C, Kang S Z, Li Z J. Effects of nitrogen forms on nitrate accumulation and nutrient absorption in cabbage[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30(1): 93-94.

[2] 何文寿，李生秀，李辉桃．铵、硝态氮配比对作物生长量的影响[J]．宁夏农学院学报，1996，17(4)：16-20.
He W S, Li S X, Li H T. Suitability of different NH_4^+/NO_3^- ratios in culture solution to crop growth[J]. J. of Ningxia Agricultural College, 1996, 17(4): 16-20.

[3] 张春兰，高祖明，张耀栋，唐为民．氮素形态和 NO_3^--N 与 NH_4^+-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.

Zhang C L, Gao Z M, Zhang Y D, Tang W M. The effects of different nitrogen forms and their concentration combination on the growth and quality of spinach[J]. J. of Nanjing Agric. Univ., 1990, 13(3): 70-74.

[4] 刘高琼，李式军．酰胺态氮对水培白菜产量和硝酸盐积累影响的季节性差异[J]．南京农业大学学报，1993，16(2)：111-113.

Liu G Q, Li S J. Seasonal fluctuation of amide - nitrogen effects on yield and nitrate accumulation of nonheading Chinese in liquid culture [J]. J. of Nanjing Agric Univ, 1993, 16(2): 111-113.

[5] 李彩凤．增铵营养对玉米品质营养初探[J]．玉米科技，2003，11(3)：82-84.

Li C F. Primarily research on quality of maize influenced by enhanced ammonium nutrition[J]. J. of Maize Science, 2003, 11(3): 82-84.

[6] Majerowicz N, Kerbauy G B, Nievola C C, Suzuki R M. Growth and nitrogen metabolism of *Catasetum fimbriatum* (*Orchidaceae*) grown with different nitrogen sourses[J]. Envir. and Exper. Botany, 2000, 44: 195-206.

[7] 郭传友，余庆波．不同形态氮素营养对彩椒生理特性的影响[J]．安徽师范大学学报(自然科学版)，2003，26(1)：55-58.

Guo C Y, Yu Q B. The effects on different nitrogen forms on physiological characteristics of colour sweet pepper[J]. J. of Anhui Normal Univ. (Natural Sci.), 2003, 26(1): 55-58.

[8] 王娜，陈国祥，绍志广，吕川根．不同形态氮素配比对水稻光合特性的影响[J]．江苏农业学报，2002，18(1)：18-22.

Wang N, Chen G X, Shao Z G, Lü C G. Effects of nitrogen nutrition forms and ratios on the photosynthetic characteristics of rice[J]. Jiangsu J. of Agric. Sci., 2002, 18(1): 18-22.

[9] 曹翠玲，李生秀．氮素形态对小麦中后期的生理效应[J]．作物学报，2003，29(2)：258-262.

Cao C L, Li S X. Effects of N form on some physiological characteristics and yield of wheat during the vegetative and reproductive growth stage[J]. Acta Agronomica Sinica, 2003, 29(2): 258-262.

[10] 熊艳，李永梅，尹增松，孔令郁．不同形态氮在土壤中的转化及对烤烟生长的影响[J]．植物营养与肥料学报，2003，9(4)：500-502.

Xiong Y, Li Y M, Yin Z S, Kong L Y. The transformation of nitrogen in soil and the effect on growth of flue-cured tobacco[J]. Plant Nutrition and Fertilization Science, 2003, 9(4): 500-502.

[11] 李彩凤．增铵营养对玉米生长发育的影响[J]．东北农业大学学报，2002，33(4)：313-318.

Li C F. Effects of enhanced ammonium nutrition on growth and development of maize[J]. J. of Northeast Agric. Univ., 2002, 33(4): 313-318.

[12] 吴耕西，陈美霞，付蕾，汪建民．高效液相色谱法分析苹果新根中的细胞分裂素[J]．山东农业大学学报，1996，27(3)：341-345.

Wu G X, Chen M X, Fu L, Wang J M. A study of analytical methods of cytokinins apply new roots[J]. J. of Shandong Agric. Univ., 1996, 27(3): 341-345.

[13] 郭世伟，邹春琴，张福锁，江荣风．铁营养状况及不同形态氮素对玉米体内不同铁库铁再利用的影响[J]．土壤学报，2001，38(4)：464-470.

Guo S W, Zou C Q, Zhang F S, Jiang R F. Effects of iron supply and different nitrogen form on remobilization of iron from different iron pools in maize plant[J]. Acta Pedologica Sinica, 2001, 38(4): 464-470.

[14] 邹春琴，陈新平，张福锁，毛达如．活性铁作为植物铁营养状况诊断指标的相关研究[J]．植物营养与肥料学报，1998，4(4)：399-406.

Zou C Q, Chen X P, Zhang F S, Mao D R. Study on the correlation between the active Fe and Fe nutritional status of plants[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(4): 399-406.

[15] 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. 182-185.

Li H S. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2000. 156-159.

[16] 陈巍，罗金葵，姜慧梅，沈其荣．不同形态氮素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，2004，41(3)：420-425.

Chen W, Luo J K, Jiang H M, Shen Q R. Effects of different NO_3^--N/NH_4^+-N ratios on the biomass and nitrate content of different cultivars of Chinese cabbage[J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(3): 420-425.

[17] 沈秀瑛，戴俊英，胡安畅，徐世昌．玉米叶片光合速率与光，养分和水分及产量关系的研究[J]．玉米科学，1994，2(3)：56-60.

Shen X Y, Dai J Y, Hu A C, Xu S C. Study on relationship between photosynthesis velocity and light, nutrition and water and its effects on yield in maize[J]. Maize Sci., 1994, 2(3): 56-60.

[18] Gao Y P, Motosugi H, Sugiura A. Rootstock effects on growth and flowering in young apple trees grown with ammonium and nitrate nitrogen[J]. J. of Am. Soc. of Horticultural Sci., 1992, 117: 446-452.

[19] Wang X, Below F E. Cytokinins in enhanced growth and tillering of wheat induced by mixed nitrogen source[J]. Crop Sci., 1996, 36: 121-126.

[20] Walch-Liu P, Neumann G, Fritz Bangerth. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis in tobacco[J]. J. of Exper. Botany, 2000, 51(343): 227-237.

[21] 雷泽湘，艾天成，李方敏，董维．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)：138-140.

Lei Z X, Ai T C, Li F M, Dong W. The Relationships between SPAD readings and the content of chlorophyll and nitrogen in strawberry leaves[J]. J. of Hubei Agricultural College, 2001, 21(2): 138-140.

[22] 艾天成，李方敏，周治安，等．作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究[J]．湖北农学院学报，2000，20(1)：6-8.

Ai T C, Li F M, Zhou Z A *et al*. Relationship between chlorophyll meter readings (SPAD Readings) and chlorophyll content of crop leaves[J]. J. of Hubei Agricultural College, 2000, 20(1): 6-8.

[23] 潘瑞炽. 植物生理学(第四版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 59.
Pan R C. Plant physiology (the forth Ed.)[M]. Beijing: High Education Pres, 2001. 59.

[24] Raab T K, Terry N. Nitrogen source regulation of photosynthesis in *Beta Vulgaris* L[J]. Plant Physiol., 1994, 105: 1159-1166.

[25] Tam N F Y, Wong Y S. Effect of ammonia concentrations on growth of *Chlorella Vulgaris* and nitrogen removal from media[J]. Bioresource Technology, 1996, 57: 45-50.

[26] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 1994. 56.
Lu J L. Plant nutrition[M]. Beijing: China Agric. Univ. Press, 1994. 56.

[27] 白亚君, 母树宏. 植物对铁的吸收运转及铁与叶绿素的关系[J]. 河北农业大学学报, 1994, 17(增卷): 121-125.
Bai Y J, Mu S H. Uptake and transport of iron in plants and relations between iron and chlorophyll[J]. J. of Hebei Agric. Univ., 1994, 17 (addtional): 121-125.

[28] Jacobson L. Iron in the leaves and chloroplast of some plants in relation to their chlorophyll content[J]. Plant Physiol., 1945, 20: 233-245.

[29] Serif A F E. Determination of ferrous and ferric iron ratio in spinach plants and their relation to iron application[J]. Plant Nutrition, 1984, 7(1-5): 767-776.