

氮肥用量对温室草莓生理特性的影响

王学林¹, 彭晓丹¹, 韩秀君², 杨再强¹, 孙 擎¹, 赵 翔¹

(1. 南京信息工程大学 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044; 2. 沈阳中心气象台, 辽宁 沈阳 110016)

摘 要:以草莓品种“丰香”为试材,研究了温室栽培条件下,0、40、80、120 mg/kg不同土壤氮素水平对草莓果实发育阶段叶片的光合色素、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量的影响,以期为设施草莓土壤氮素管理提供参考依据。结果表明:在花期和坐果期,草莓叶片叶绿素含量、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量随氮素水平的增加而增加,以120 mg/kg 氮素处理促进作用最强;在果实膨大期、果实转色期和成熟期,草莓叶片叶绿素含量、最大光合速率、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量随氮素水平增加呈先增加后减小趋势,以80 mg/kg氮素处理促进作用最强。

关键词:设施草莓;氮素水平;生理特性

中图分类号:S 668.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)09-0182-04

草莓(*Fragaria ananassa* Duch.)属蔷薇科草莓属多年生草本植物,在世界小浆果生产中栽培面积和产量均

居世界首位。草莓以其柔软多汁、营养丰富而著称,尤其含有大量的维生素,素有“水果皇后”的美称^[1]。

植物生长需要多种营养元素,而以氮素最为重要,比其它营养元素更能限制植物的生产力^[2-4]。氮素对植物生理代谢和生长发育具有重要作用,氮素既是蛋白质、核酸、磷脂的主要成分,又是原生质、细胞核和生物膜的重要组成部分,通常被称为生命元素^[5]。国内外关于氮肥对作物的影响已有相关报道。夏彦辉等^[6]研究表明,适量的氮肥可促进莴苣产量,提高产品品质,使莴苣的可溶性糖和维生素C含量显著增加;但超过一定施氮量则对植株生长产生抑制作用。不同氮素水平会影

第一作者简介:王学林(1986-),男,硕士研究生,现主要从事农业气象灾害等研究工作。E-mail: wangxuelin19860104@163.com.

责任作者:杨再强(1967-),男,四川安岳人,博士,教授,博士生导师,现主要从事设施作物环境调控等研究工作。E-mail: yzq@nuist.edu.cn.

基金项目:国家公益性行业(气象)科研专项资助项目(GY-HY201206024;GYHY201006028);江苏省科技支撑计划资助项目(社会发展)(BE2010734)。

收稿日期:2013-12-28

[10] 贺学礼,高露,赵丽莉.水分胁迫下丛枝菌根 AM 真菌对民勤绢蒿生长与抗旱性的影响[J].生态学报,2011,31(4):1029-1037.

[11] 余玲,王彦荣,Garnett T,等.紫花苜蓿不同品种对干旱胁迫的生理响应[J].草业学报,2006,15(3):75-85.

[12] 包爱科,杜宝强,王锁民.紫花苜蓿耐盐、抗旱生理机制研究进展[J].草业科学,2011,28(9):1700-1705.

[13] 桂枝,高建明.盐胁迫对6个苜蓿品种脯氨酸含量和超氧化物歧化

酶活性的影响[J].天津农学院学报,2007,14(4):18-21.

[14] 刘盛林,贺学礼.水分胁迫下 AM 真菌对甘草生长的影响[J].核农学报,2009,23(4):692-696.

[15] 韩冰,贺超兴,郭世荣,等.丛枝菌根真菌对盐胁迫下黄瓜幼苗渗透调节物质含量和抗氧化酶活性的影响[J].西北植物学报,2011,31(2):2492-2497.

Effects of AM Fungi on Alfalfa Growth and Drought Resistance Under Water Stress

KONG Jing^{1,2}, PEI Zong-ping^{1,2}, DU Min^{1,2}, SUN Gan^{1,2}

(1. School of Environmental and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116; 2. Jiangsu Key Laboratory of Resources and Environmental Information Engineering, Xuzhou, Jiangsu 221116)

Abstract: Taking *Glomus hosseae* as microbial inoculum, taking alfalfa as research object, the effects of AM fungi on alfalfa growth and drought resistance were studied by pot experiment under different water conditions. The results showed that when the soil relative water content was 40%, the plant leaf relative water content, proline content and soluble sugar content increased significantly after the vaccination of AM fungi, the cell membrane permeability, MDA content and three kinds of protective enzyme activities decreased obviously. Inoculation of AM fungi could promote the accumulation of plant cell osmotic regulation substances content, reduced the super oxygen free radicals, reduced the damage to the plant water stress, prompting them to better adapt to mining area drought environment.

Key words: water stress; AM fungi; alfalfa; drought resistance

响成熟作物果实芳香的成分,进而影响果实的风味品质^[7-9]。Ren 等^[10]在不同施氮量对杂交油菜鲜干重净增量影响的研究中发现,单株鲜重净增量和单株干物质净增量随施氮量增加而逐渐降低;杨蕊菊等^[11]研究表明,小麦/玉米总籽粒产量随施氮量的增加而增加,但当施氮量超过一定范围后,总籽粒产量不再随施氮量的增加而增加。草莓在生育初期需肥量少,自开花后,需肥量增多,并随着草莓果实的膨大,养分需求量迅速增加,尤其对氮养分。在设施生产中,人们为了高产,盲目大量施用氮肥,但是产量增加的幅度远远低于氮肥施用量的上升幅度;加之设施环境地温高、蒸发量大、无雨水淋洗、连作等,造成设施内土壤理化性状恶化,有害物质残留增多,植株抗性变差,产量下降,果实品质低劣,不但影响经济效益,也污染环境及影响人体健康。

目前关于设施草莓氮素管理研究较少,现对草莓花后施用氮肥(尿素)对草莓不同生育期的最大光合速率、叶绿素含量、硝酸还原酶活性和可溶性蛋白质含量进行了研究,以期对草莓不同发育阶段氮的调控提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试草莓为日本品种“丰香”(‘Toyonoka’),选择长势一致的草莓进行盆栽后备用。

1.2 试验方法

试验于 2012 年 3~6 月在南京信息工程大学玻璃温室(Venlo)内采用盆栽方式进行,温室顶高 5.0 m,脊高 4.5 m,宽 9.6 m,长 30.0 m;草莓栽培盆的盆径为 25 cm,盆高 18 cm。装风干土 3.5 kg,装土前过筛,土壤有机质含量 20.2 g/kg,全氮含量 98 mg/kg,速效磷含量 70.6 mg/kg,速效钾含量 126.8 mg/kg。试验设 4 个氮素水平:不施氮肥(N0),施氮 40 mg/kg(N1),施氮 80 mg/kg(N2),施氮 120 mg/kg(N3),分别在花期和果实膨大期施入,追肥量分别为施肥量的 50%和 50%,磷肥和钾肥作基肥一次性施入,每个处理 10 盆草莓。水分等条件维持在正常水平。

1.3 项目测定

分别于花期、坐果期、果实膨大期、果实转色期和收获期采用 Li-6400 便携式光合作用测定系统(LI-COR Biosciences Inc., USA)在上午 9:00~11:00 测定叶片光合特性,测定时控制叶室中 CO₂ 浓度为 375 μmol/mol,光量子通量密度设置为 2 000、1 800、1 600、1 400、1 200、800、600、400、200、100、150、50、0 μmol·m⁻²·s⁻¹。由 Li-6400 内置程序自动完成测定。叶绿素含量和类胡萝卜素含量的测定采用 80%丙酮提取比色法^[12];硝酸还原酶(NR)活性采用活体分光光度法测定;可溶性蛋白质含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定^[13]。每处理测定均重复 3 次。

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 软件进行处理和作图,采用 DPS 7.5 软件的 Duncan 法进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平对草莓果实发育阶段叶片光合色素含量的影响

由表 1 可以看出,各处理的 Chl a、Chl b 和类胡萝卜素含量在草莓花后不同生长阶段均高于 N0(不施氮肥)处理。在花期、坐果期及果实膨大期阶段,Chl a、Chl b 和类胡萝卜素含量随着施氮量的增加而增加,N3 与 N0 相比差异显著($P<0.05$);在果实转色期和果实成熟期阶段 Chl a、Chl b 和类胡萝卜素含量随着施氮量的增加先增加后减少,在 N2 处理下上述 3 种光合色素含量达到最大值,与 N0 相比差异显著($P<0.05$),各处理下光合色素含量从大到小的顺序依次为 N2、N1、N3、N0。Chl a/b 在不同生长阶段均表现为施肥处理低于 N0 不施肥处理,在花期、坐果期及果实膨大期阶段,Chl a/b 与施肥量呈负相关,施肥量越多,Chl a/b 比值越小;在果实转色期和果实成熟期阶段,Chl a/b 在 N2 处理下达到最小值,不同处理下 Chl a/b 从小到大依次为 N2、N1、N3、N0。

表 1 不同氮素水平对草莓叶片光合色素含量的影响

生育期	处理	叶绿素 a 含量 /mg·g ⁻¹	叶绿素 b 含量 /mg·g ⁻¹	叶绿素 a/叶绿素 b	类胡萝卜素含量 /mg·g ⁻¹
花期	N0	1.795±0.009a	0.636±0.001a	2.822±0.010b	0.360±0.003a
	N1	1.958±0.052b	0.697±0.009a	2.809±0.052b	0.371±0.003a
	N2	1.971±0.070b	0.709±0.026a	2.780±0.096a	0.405±0.017b
	N3	2.350±0.052c	0.849±0.010b	2.768±0.061a	0.417±0.008b
坐果期	N0	1.988±0.024a	0.701±0.009a	2.836±0.015b	0.384±0.008a
	N1	2.063±0.018a	0.738±0.018a	2.795±0.029a	0.386±0.003a
	N2	2.304±0.044b	0.837±0.012b	2.753±0.037a	0.409±0.003b
	N3	2.682±0.063c	0.992±0.019c	2.704±0.082a	0.432±0.004c
果实膨大期	N0	2.210±0.012a	0.756±0.016a	2.923±0.026d	0.420±0.002a
	N1	2.388±0.033b	0.852±0.006b	2.870±0.036c	0.423±0.007a
	N2	2.537±0.063c	0.928±0.025c	2.734±0.088b	0.423±0.008a
	N3	2.542±0.023bc	1.047±0.036c	2.428±0.033a	0.467±0.009b
果实转色期	N0	1.847±0.011a	0.608±0.004a	3.038±0.014b	0.335±0.011a
	N1	2.450±0.010b	0.889±0.004b	2.756±0.012a	0.453±0.003b
	N2	2.664±0.019c	0.978±0.003c	2.724±0.017a	0.460±0.006b
	N3	1.867±0.059a	0.660±0.023a	2.829±0.082a	0.336±0.011a
果实成熟期	N0	1.574±0.012a	0.499±0.008a	3.154±0.020c	0.290±0.002a
	N1	1.958±0.091c	0.709±0.025c	2.762±0.060a	0.384±0.011b
	N2	2.044±0.095c	0.794±0.038c	2.574±0.133a	0.398±0.018b
	N3	1.680±0.042b	0.586±0.017b	2.867±0.058b	0.318±0.008a

注:小写字母表示在 $P=0.05$ 水平下差异显著性,下同。

2.2 不同氮素水平对草莓叶片最大光合速率的影响

由图 1 可以看出,增施氮肥可提高花后草莓的最大光合速率。不同时期各处理的最大光合速率都高于 N0 处理,表明花后追施氮肥可以提高草莓的光合作用,促进植株生长。在花期和坐果期草莓叶片最大光合速率与施氮量呈正相关,施氮量越多,最大光合速率越大。而在果实膨大期到果实成熟期阶段,以 N2 处理下的草

莓最大光合速率最大,与不施肥 N0 处理差异较大,在上述 3 个时期分别比 N0 大 39.8%、38.9%和 50.0%,继续增施氮肥最大光合速率下降。对于同一处理的不同生长阶段,最大光合速率均随植株的生长呈现先增大后减小的趋势;N0 和 N3 处理下的草莓最大光合速率在坐果期达到最大值,而 N1 和 N2 处理则在果实膨大期达到最大值,这表明 N2 处理最适宜草莓花后生长,而 N3 处理对草莓生长具有抑制作用。

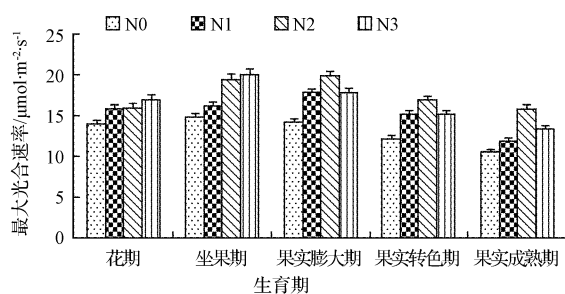


图1 不同氮素水平对草莓叶片最大光合速率的影响

2.3 不同氮素水平对草莓果实发育阶段硝酸还原酶活性的影响

由图 2 可以看出,硝酸还原酶活性(NRA)在草莓花后整个生育期内,随着生育进程的变化表现为先逐渐增加,到达高峰后活性迅速减弱。氮素水平不同,NRA 也不同,在花期和坐果期,NRA 随氮素水平的增加而增加,N3 处理下的 NRA 与其它各处理相比差异显著($P < 0.05$);在其它 3 个生育期内则随着氮素水平先增加后降低,以 N2 处理下的活性最高,且除果实成熟期之外,在其它 2 个生育期与其它处理相比表现出显著差异($P < 0.05$),而 N3 处理下的酶活性甚至低于 N1 处理,施肥处理下的酶活性均高于不施肥 N0 处理。从花期到果实膨大期,NRA 逐渐增强,果实膨大期达到高峰,从果实膨大期以后,NRA 迅速降低,果实转色期后逐渐下降。说明在草莓生长后期,氮素水平达到一定水平后,再增施氮肥已经不能提高叶片 NRA,过多的氮肥反而使叶片 NRA 降低。

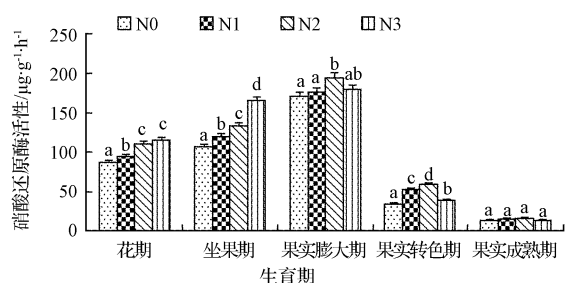


图2 不同氮素水平对草莓叶片硝酸还原酶活性的影响

2.4 不同氮素水平对草莓花后可溶性蛋白质含量的影响

草莓叶片可溶性蛋白质含量代表草莓的氮素营养水平,在一定程度上可以反映叶片的光合能力。由图 3

可知,可溶性蛋白质含量随生育期进行呈现先增加后减少的趋势,从花期开始逐渐增加,到达高峰后又呈下降趋势,在果实转色期最高。不同氮素营养处理下的可溶性变化规律不同,在花期和坐果期,可溶性蛋白质含量随着氮素营养水平的增加而增加,即表现为 $N3 > N2 > N1 > N0$,果实膨大期之后,N2 处理下的可溶性蛋白在所有处理中最高,表现为 $N2 > N1 > N3 > N0$ 。氮素水平会直接影响草莓叶片的可溶性蛋白质含量,供氮不足或过多都会使后期草莓光合能力降低。

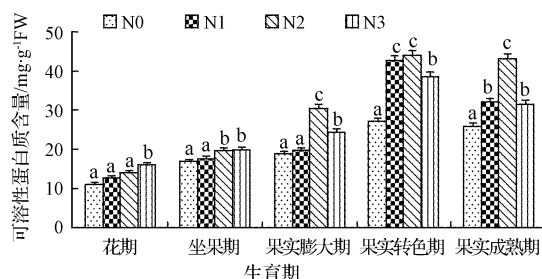


图3 不同氮素水平对草莓叶片可溶性蛋白质含量的影响

3 讨论与结论

氮既是构成叶绿素的重要成分,也是参与植物组织构成的重要物质,叶绿素作为植物的光合色素直接或间接影响植物的光合作用,而光合作用又是植物物质代谢和能量转换的最初源泉^[14]。该研究表明,适当的氮素水平能显著提高草莓叶片的叶绿素 a、叶绿素 b,降低叶绿素 a/b 的比值,说明叶绿素 b 的增加幅度比叶绿素 a 大,有利于补光色素的形成用于捕获光能,该研究结果与龙明华等^[15]的研究结果一致。叶绿素 a、叶绿素 b 在果实成熟期与果实转色期时相比都降低,但叶绿素 a/b 的比值仍以 N2 处理最小,表明果实转色期之后 N2 处理与其它各处理相比,叶绿素 b 比叶绿素 a 的降解程度更慢。在该试验中,类胡萝卜素的变化趋势与叶绿素变化趋势一致。

一定范围内,叶绿素含量与最大光合速率呈正相关^[16],植物叶片的光合强度随叶绿素含量的增加而增加,适宜氮素水平有利于光合作用的提高。该试验中,N2 处理下的草莓在果实膨大期时最大光合速率即达到最大值,而该处理下的草莓叶片叶绿素含量最大值出现在果实转色期,表明果实膨大期时叶绿素含量已经不是光合速率大小的限制因素,光合速率的降低并不是由于叶绿素含量的减少而导致。张秋英等^[17]研究认为,叶绿素含量高并不表示光合速率高,一定浓度的叶绿素含量能保持较高的光合速率,但超过此浓度后,作用减小。该试验中 N3 处理下草莓叶片最大光合速率出现在坐果期,此后随着草莓发育进程的推进,最大光合速率低于 N2 处理。

NR 是 NO_3^- 同化过程中的第一个关键酶,也是限速酶,其活性可反映植株营养状况和氮代谢水平^[18]。NRA 对调节植物体内硝态氮同化水平和蛋白质合成具

有重要意义,显著影响光合作用^[19]。该研究中各处理的 NRA 在果实膨大期最大,与最大光合速率和叶绿素含量的规律一致。在果实转色期和成熟期,以 N₂ 处理下的 NRA 最大,NRA 不再随着氮素水平的增加而增加。

可溶性蛋白质含量作为结构物质,在各种物质的合成中发挥着重要作用。它是花器官形态建成的物质基础,在花芽分化时需要量很大^[20]。该试验中草莓叶片中的可溶性蛋白质含量随生育期先增加后减少,在花期含量最少,可能是由于花芽分化的需要,叶片中的可溶性蛋白质向花器官中转移,各处理以 N₃ 处理下的可溶性蛋白质含量最高。果实膨大期追肥,可溶性蛋白质含量增加,但以 N₂ 处理下的可溶性蛋白质含量最高,继续增施氮肥,叶片中可溶性蛋白质含量反而减少。可溶性蛋白质含量在果实膨大期达到最大值,之后组织老化,酶和蛋白质等开始分解,可溶性蛋白质含量减少。

该研究证实不同氮素水平对草莓的叶片光合色素含量、最大光合速率,硝酸还原酶活性及可溶性蛋白质含量具有显著影响,施氮量为 80 mg/kg 时草莓的生理活性最高,过低或过高都不利于草莓生长,因此在生产上调控施肥量,保证草莓生长的前提下避免施肥量过多而导致土壤污染,该研究结果可为温室草莓生长所需氮肥量提供依据。

参考文献

- [1] 赵密珍,王静,王壮伟,等. 世界草莓生产和贸易[J]. 果农之友,2012(6):40.
- [2] Crawford N M, Glass D M A. Molecular and physiological aspect of nitrate uptake in plants[J]. Trends in Plant Science,1998,3(10):389-395.
- [3] Vitousek P M, Howarth R W. Nitrogen limitation on land and in the sea:How can it occur[J]. Biogeochemistry,1991,13(2):87-115.
- [4] Cassman K G, Kropf M J, Gaunt J, et al. Nitrogen use efficiency of rice reconsidered:What are the key constraints? [J]. Plant and Soil,1993,155(1):359-362.
- [5] Mars-hner H. Mineral nutrition of higher plants. San Diego, CA[M]. USA:Academic Press,1986:197-218,229-312.
- [6] 夏彦辉,李贺年,卢凤刚,等. 不同氮肥量对茼蒿品质及产量的影响[J]. 北方园艺,2012(21):29-30.
- [7] 刘松忠,姜远茂,彭福田,等. 氮素处理对成熟草莓果实芳香成分的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2004,35(2):183-186.
- [8] Ojeda-Real L A, Lobit P, Cárdenas-Navarro R, et al. Effect of nitrogen fertilization on quality markers of strawberry (*Fragaria*×*ananassa* Duch. cv. Aromas)[J]. Science of Food and Agriculture,2009,89(6):935-939.
- [9] Ferrante A, Spinardi A, Maggiore T, et al. Effect of nitrogen fertilisation levels on melon fruit quality at the harvest time and during storage[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture,2008,88:707-713.
- [10] Ren T B, Zhao J X. Effect of different nitrogen application amount on the net increment of fresh dry weight in hybrid rape[J]. Agricultural Science and Technology,2008,9(2):147-151.
- [11] 杨蕊菊,柴守玺,马忠明. 施氮量对小麦/玉米带田土壤水分及硝态氮的影响[J]. 生态学报,2012,32(24):7905-7912.
- [12] 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.
- [13] 李合生. 植物生理生化试验原理与技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:164-169.
- [14] Ahmad R, Zaheer S H, Smail S. Role of silicon in salt tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Plant Sci,1992,85:43-50.
- [15] 龙明华,唐小付,于文进,等. 不同钙素水平对厚皮甜瓜叶片光合作用和保护酶活性的影响[J]. 广西植物,2005,25(1):77-82.
- [16] 袁野,吴凤芝,周新刚,等. 光氮互作对番茄光合特性的影响[J]. 作物杂志,2011(1):13-16.
- [17] 张秋英,李发东,刘孟雨. 冬小麦叶片叶绿素含量及光合速率变化规律的研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):95-98.
- [18] 刘丽,甘志军,王宪泽. 植物氮代谢硝酸还原酶水平调控机制的研究进展[J]. 西北植物学报,2004,24(7):1355-1361.
- [19] 李东方,李紫燕,李世清,等. 施氮对不同品种冬小麦植株硝态氮和硝酸还原酶活性的影响[J]. 西北植物学报,2006,26(1):104-109.
- [20] 徐淑萍,穆鼎,刘春. 不同百合花花芽分化期的生理生化变化[J]. 中国农学通报,2005,7(21):207-209.

Effect of Different Nitrogen Concentration on Physiological Property Strawberry in Greenhouse

WANG Xue-lin¹, PENG Xiao-dan¹, HAN Xiu-jun², YANG Zai-qiang¹, SUN Qing¹, ZHAO Xiang¹

(1. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210044; 2. Shenyang Central Meteorological Center, Shenyang, Liaoning 110016)

Abstract: Taking 'Toyonoka' strawberry as material, the effect of different nitrogen concentration with 0, 40, 80, 120 mg/kg on photosynthetic pigments, maximum photosynthetic rate, nitrate reductase activity and soluble protein content of post-anthesis strawberry leaves were studied in greenhouse. The results showed that, chlorophyll content, maximum photosynthetic rate, nitrate reductase activity and soluble protein content of strawberry leaves during flowering period and fruit setting period increased with the rising nitrogen concentration, the nitrogen concentration at 120 mg/kg had the biggest promotion. While chlorophyll content, maximum photosynthetic rate, nitrate reductase activity and soluble protein content of strawberry leaves during fruit expending period, fruit coloring period and fruit ripening period first increased and then decreased with the increasing nitrogen concentration, the nitrogen concentration at 80 mg/kg had the biggest promotion.

Key words: strawberry in greenhouse; nitrogen concentration; physiological property