

不同氮水平营养液对砂培黄瓜幼苗生长及根系形态的影响

于洪杰¹, 周新刚¹, 关颂娜^{1,2}, 吴凤芝¹

(1. 东北农业大学 园艺学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 汤原县农业技术推广中心, 黑龙江 汤原 154700)

摘 要:以“津绿 30 号”(氮低效)和“津优 2 号”(氮高效)2 种氮效率黄瓜品种为试材,研究了砂培条件下不同氮水平营养液(0.875、3.500 mmol/L)对黄瓜幼苗生长及根系形态的影响。结果表明:播种后第 21、28 天,在正常供氮条件下(3.500 mmol/L),氮高效黄瓜品种幼苗的叶面积,地上、地下部干重,根长,根表面积以及根尖数均高于氮低效黄瓜品种;低氮条件下(0.875 mmol/L),氮低效黄瓜品种的株高、茎粗等生长指标显著高于氮高效黄瓜品种,而叶面积,地上、地下部干重,根长及根表面积差异不显著,但 28 d 时,氮高效品种的根尖数显著高于氮低效品种。播种后 21 d,根系直径范围在 $0.0\text{ mm} < D \leq 0.5\text{ mm}$ 、 $0.5\text{ mm} < D \leq 1.0\text{ mm}$ 和 $1.0\text{ mm} < D \leq 1.5\text{ mm}$ 时,正常供氮下的氮高效黄瓜品种的根长和根表面均高于其它处理,低氮条件下,2 个品种间均无显著差异;28 d 时,根系直径范围在 $0.0\text{ mm} < D \leq 0.5\text{ mm}$ 时,正常供氮下的氮高效黄瓜品种的根长显著高于氮低效品种的 2 个处理,低氮条件下,氮低效品种与氮高效品种根长差异不显著。因此,正常供氮下的黄瓜幼苗的地上和地下干重、根长、根表面积、根尖数均可作为氮高效黄瓜品种筛选的参考指标,低氮条件下,根尖数可为氮高效黄瓜品种筛选提供依据。

关键词:黄瓜;氮效率;根系形态;砂培

中图分类号:S 642.206⁺.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)07-0017-06

氮元素具有多种重要的生理生化功能,它是限制作物生长发育以及产量形成的重要因素,是陆地生态系统中限制植物生长的元素之一^[1]。当前农业生产中,尤其是设施内,氮肥施用量普遍较高,且氮肥利用率低^[2]。大量的氮素损失会导致一系列环境问题,如水体污染、气候变暖等,氮肥的过量使用也会影响作物品质^[3-4]。黄瓜(*Cucumis sativus* L.)是全球消费量最多的蔬菜之一,是设施中栽培面积较大的蔬菜。黄瓜属于喜水喜氮植物,对氮的需求量很大,所以在栽培过程中通常需要施用大量的氮肥^[5]。

筛选、利用氮高效品种是降低农业系统中氮素使用量的重要途径^[4,6]。前人已对大麦、水稻、玉米、小麦、油

菜、黄瓜等作物的氮高效品种进行了筛选^[7-10]。但目前作物的氮高效利用机理仍然不十分清楚,其评价指标仍不完善。根系是植物吸收养分的重要器官,根系的良好发育是保证作物在不断变化的土壤环境中良好生长的基础,其形态特征和空间分布是影响作物养分吸收的重要因素^[11-12]。大量研究表明,植物的根系生长情况与氮素营养密不可分,根系形态直接与氮效率相关,根系形态的差异与氮效率差异的重要原因之一^[13-15],研究作物根系形态特征对理解作物氮效率机理有重要意义。

该试验以课题组所筛选出来的氮高效黄瓜品种“津优 2 号”和氮低效品种“津绿 30 号”为试材^[9],以浇灌营养液为供氮方式,进行黄瓜苗期砂培试验。与黄瓜幼苗地上部生长状况相结合,研究砂培条件下,不同氮水平营养液对不同氮效率黄瓜幼苗根系形态的影响,解析不同氮素水平不同氮效率黄瓜品种幼苗的根系生物学特性,探明不同氮效率黄瓜根系形态特征,以期为进一步揭示黄瓜氮高效机理、选育氮高效黄瓜品种以及提高氮肥利用率提供一定的参考依据。

第一作者简介:于洪杰(1990-),女,硕士研究生,研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail:89116215@qq.com.

责任作者:吴凤芝(1964-),女,博士,教授,研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail:fzwu2006@aliyun.com.

基金项目:国家大宗蔬菜产业技术体系资助项目(CARS-25-08);国家科技支撑计划资助项目(2014BAD05B01)。

收稿日期:2015-12-14

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试黄瓜(*Cucumis sativus* L.)品种:“津优 2 号”(G:氮高效黄瓜品种);“津绿 30 号”(D:氮低效黄瓜品种)^[9]。供试基质为河砂,清洗并灭菌后备用。

1.2 试验方法

试验于 2012 年 9—11 月在东北农业大学设施生理生态研究室进行。以前期筛选出的 2 个黄瓜品种“津绿 30 号”(D)和“津优 2 号”(G)为试材^[9]。黄瓜种子浸种催芽后,选取发芽一致的种子播于 8 cm×8 cm 的营养钵中,钵中装有清洗并灭菌的河砂,每钵装河砂 230 g,光照培养箱培养(25℃/14 h 光照处理,18℃/10 h 暗处理;培养箱内湿度设为 65%)。设正常供氮处理、氮浓度为 3.500 mmol/L (Nck)和低氮处理、氮浓度为 0.875 mmol/L (Nd)^[16],共计 4 个处理:正常氮浓度的氮低效黄瓜品种(NckD)、低氮浓度的氮低效黄瓜品种(NdD)、正常氮浓度的氮高效黄瓜品种(NckG)和低氮浓度的氮高效黄瓜品种(NdG)。正常施氮所施营养液为日本山崎黄瓜营养液配方^[17]:Ca(NO₃)₂·4H₂O 206.5 mg/L、KNO₃ 151.8 mg/L、NH₄H₂PO₄ 28.8 mg/L,微肥。低氮区施肥配方为:Ca(NO₃)₂·4H₂O 206.5 mg/L、KNO₃ 151.8 mg/L、NH₄H₂PO₄ 28.8 mg/L,微肥。低氮区施氮配方为:Ca(NO₃)₂·4H₂O 51.63 mg/L、KNO₃ 37.95 mg/L、NH₄H₂PO₄ 7.2 mg/L、CaCl₂ 72.85 mg/L、K₂SO₄ 81.76 mg/L、KH₂PO₄ 25.5 mg/L,微肥。微肥配方:MgSO₄·7H₂O 120.75 mg/L、FeSO₄ 3.475 mg/L、EDTA-Na₂ 4.65 mg/L、H₃BO₃ 0.715 mg/L、MnSO₄ 0.533 mg/L、ZnSO₄ 0.06 mg/L、CuSO₄ 0.02 mg/L、(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 0.005 mg/L。配方中硝态氮(NO₃⁻-N)和铵态氮(NH₄⁺-N)浓度之比为 13:1。每处理 3 次重复,每个重复 10 钵,每钵播种 3 粒种子,出苗后间苗,只留 1 株黄瓜幼苗。黄瓜播种后 7 d(子叶展平)开始浇灌营养液,每 3 d 浇 1 次,每钵浇 100 mL。

1.3 项目测定

在黄瓜播种后第 21 天(2 片真叶)和第 28 天(3 片真叶)对不同处理的黄瓜幼苗形态指标和根系形态特征进行测定。

1.3.1 黄瓜生长指标的测定 株高用米尺测定从基质表面的茎底部至生长点顶端距离。茎粗用游标卡尺测定茎基部的粗度。叶面积用直尺测定成熟叶片(选定最大叶片)的长和宽,用公式计算出叶面积,黄瓜叶面积=0.743×叶片长×叶片宽^[18]。地上、地下部干鲜重:每个品种随机选取 5 株,在烘箱中 105℃杀青 30 min,然后 80℃烘干至恒重,利用 1/100 电子天平测定植株干重。

1.3.2 根系形态学的测定 将幼株根系用水清洗干净,采用根系分析仪(LA-S2400)扫描根长度、根体积、根面积、根尖数和根系平均直径以及直径分别在 0<D≤0.5、0.5<D≤1.0、1.0<D≤1.5、D>1.5 mm 范围内的根长和根系表面积。

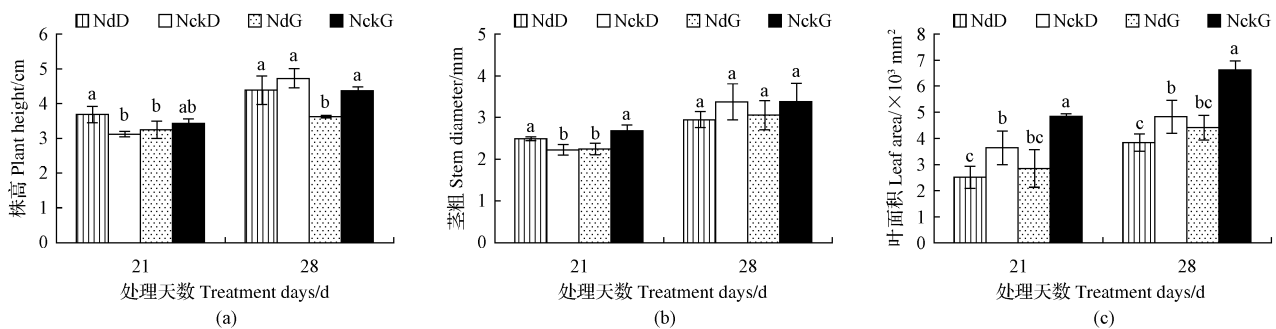
1.4 数据分析

数据处理采用 SAS 8.1 软件,用 one-way ANOVA 分析不同氮水平营养液对砂培黄瓜幼苗生长及根系形态的影响,多重比较使用 Tukey's HSD 法(P<0.05)。

2 结果与分析

2.1 不同氮素水平对不同氮效率黄瓜幼苗生长指标的影响

2.1.1 对黄瓜幼苗株高、茎粗、叶面积的影响 播种后的 21 d 和 28 d,低氮处理中的氮低效黄瓜品种的幼苗株高显著高于氮高效品种(P<0.05)。正常供氮条件下,2 个黄瓜品种间的株高无显著差异(图 1a)。播种后第 21 天,低氮条件下,氮低效黄瓜品种的茎粗显著高于氮高效品种;正常供氮条件下,二者正好相反(P<0.05)(图 1b)。播种后第 28 天,2 个品种间差异不显著。在 21 d 和 28 d 2 个取样时期,正常供氮处理中的氮高效黄瓜品种的叶面积均显著高于氮低效品种(P<0.05)(图 1c);低氮条件下,2 个品种间差异不显著。



注:柱形图上不同字母代表差异达 0.05 显著水平(Tukey's HSD 法),下同。

Note: Different letters on the column show significant difference at 0.05 level(Tukey's HSD method), the same below.

图 1 不同氮效率黄瓜幼苗株高(a)、茎粗(b)和叶面积(c)的差异

Fig. 1 Difference of plant height(a), stem diameter(b), leaf area(c) with different nitrogen levels

2.1.2 对黄瓜幼苗地上部干、鲜重的影响 播种后第21天和第28天,正常供氮条件下,氮高效黄瓜品种的幼

苗地上部干、鲜重显著高于氮低效黄瓜品种($P<0.05$);低氮条件下,2个黄瓜品种间无显著差异(图2)。

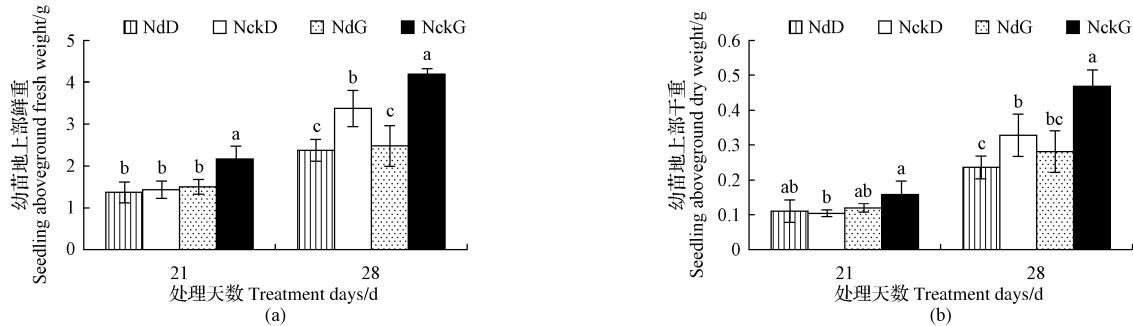


图2 不同氮效率黄瓜幼苗地上部鲜重(a)和干重(b)的差异

Fig. 2 Difference of seedling aboveground fresh weight(a), dry weight(b) with different nitrogen levels

2.1.3 对黄瓜幼苗根系干、鲜重的影响 播种后第21天,正常供氮条件下,氮高效黄瓜品种的幼苗根系干、鲜重显著高于氮低效黄瓜品种($P<0.05$);播种后第28

天,正常供氮处理中氮高效黄瓜品种的幼苗根系干重显著高于氮低效黄瓜品种($P<0.05$)。低氮条件下,2个黄瓜品种间无显著差异(图3)。

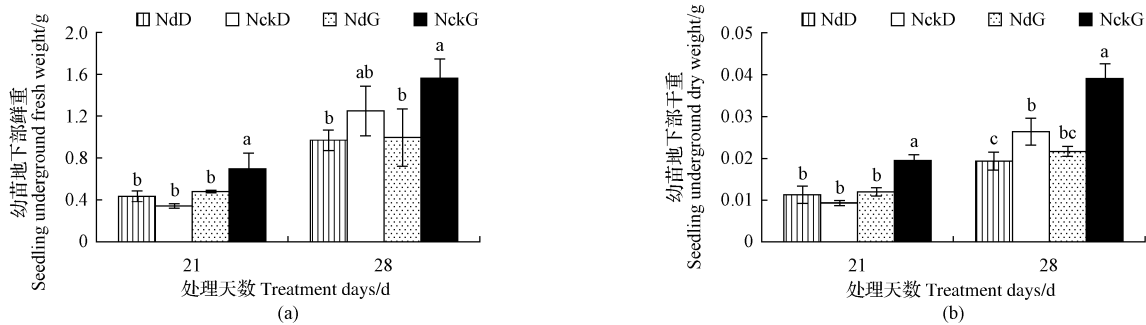


图3 不同氮效率黄瓜幼苗地下部鲜重(a)和干重(b)的差异

Fig. 3 Difference of seedling underground fresh weight(a), dry weight(b) with different nitrogen levels

2.2 不同氮素水平对不同氮效率黄瓜幼苗根系形态的影响

2.2.1 对根系总长度、根系表面积和根体积的影响 播种后第21天,正常供氮条件下,氮高效黄瓜幼苗的根长,根表面积,根体积均显著高于氮低效黄瓜品种($P<$

0.05);低氮条件下,2个品种间各指标差异不显著。播种后第28天,正常供氮条件下,氮高效黄瓜幼苗的根长和根表面积均显著高于氮低效黄瓜($P<0.05$)。低氮条件下,2个品种间无显著差异(图4)。

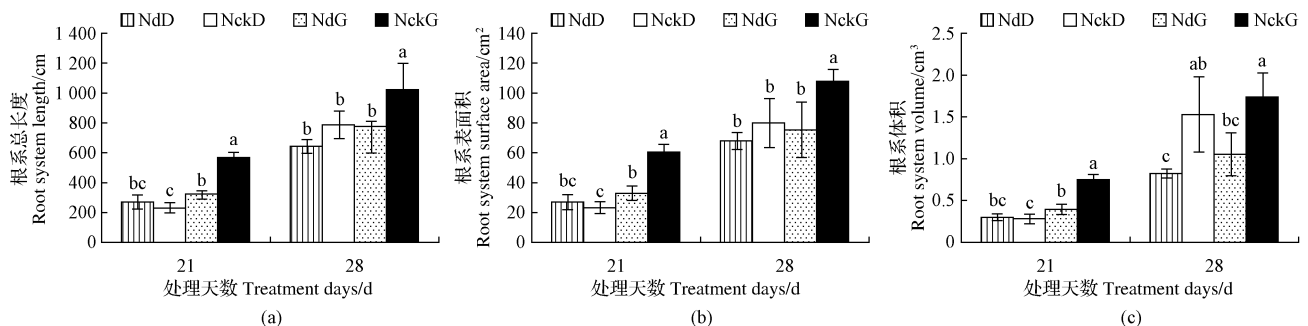


图4 不同氮效率黄瓜幼苗根系总长度(a)、根系表面积(b)和根系体积(c)的差异

Fig. 4 Difference of root system length(a), root system surface area(b), root system volume with different nitrogen levels

2.2.2 对根尖数和根系平均直径的影响 种后第21天,正常供氮条件下,氮高效黄瓜幼苗根尖数显著高于氮低效黄瓜($P<0.05$) (图5a);低氮条件下,2个品种差异不显著。播种后第28天,正常供氮或低氮条件下,氮

高效黄瓜幼苗根尖数均显著高于氮低效黄瓜幼苗根尖数($P<0.05$)。播种后第21天和第28天,正常氮素条件下的不同氮效率品种间差异不显著($P<0.05$) (图5b)。

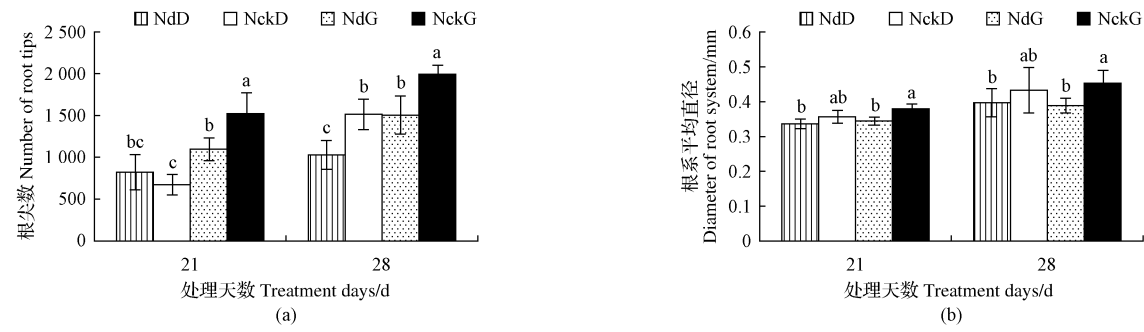


图5 不同氮效率黄瓜幼苗根尖数(a)和根系平均直径(b)的差异

Fig. 5 Difference of number of root tips(a), diameter of root system(b) with different nitrogen levels

2.2.3 对不同直径范围内根长的影响 播种后第21天,对直径在 $0.0\text{ mm}<D\leq 0.5\text{ mm}$ 、 $0.5\text{ mm}<D\leq 1.0\text{ mm}$ 和 $1.0\text{ mm}<D\leq 1.5\text{ mm}$ 的根系,NckG处理均显著高于其它处理,其它处理间无显著差异(表1); $D>1.5\text{ mm}$ 区域内,NckG处理显著高于NdD处理。播种后第28天,直径范围在 $0.0\text{ mm}<D\leq 0.5\text{ mm}$ 和 $0.5\text{ mm}<D\leq 1.0\text{ mm}$ 时,NckG处理均显著高于NdD处理($P<0.05$),其它处理间差异不显著。

表1 不同直径范围内根长的差异

Table 1 Difference of root length with different diameter range mm

取样时期 Sampling date/d	处理 Treatment	直径范围 Diameter range			
		$0.0<D\leq 0.5$	$0.5<D\leq 1.0$	$1.0<D\leq 1.5$	$D>1.5$
21	NdD	235.59±49.59b	32.36±9.74b	2.05±0.95b	0.73±0.27b
	NckD	209.18±38.07b	17.83±5.63b	1.82±0.46b	1.77±1.13ab
	NdG	273.99±7.18b	47.81±18.09b	2.63±0.86b	0.99±0.24ab
	NckG	479.34±30.35a	79.42±25.53a	5.87±1.34a	2.15±0.33a
28	NdD	524.61±58.12b	105.16±16.28b	9.70±1.91a	2.64±2.52a
	NckD	632.46±93.01b	132.65±22.23ab	13.00±4.80a	8.62±5.26a
	NdG	662.31±18.89ab	98.43±25.42b	8.93±6.06a	5.72±2.51a
	NckG	804.68±104.19a	182.38±57.96a	20.65±9.54a	10.06±4.54a

注:同一取样时期,同一列中不同字母代表差异达0.05显著水平(Tukey's HSD法),下同。
Note: In the same period, different letters in the same column show significant difference at 0.05 level (Tukey's HSD method), the same below.

2.2.4 对不同直径范围内根系表面积的影响 播种后第21天,对直径在 $0.0\text{ mm}<D\leq 0.5\text{ mm}$ 、 $0.5\text{ mm}<D\leq 1.0\text{ mm}$ 和 $1.0\text{ mm}<D\leq 1.5\text{ mm}$ 的根系,NckG处理均显著高于其它处理($P<0.05$),其它处理间差异不显著(表2)。播种后第28天,对直径在 $0.0\text{ mm}<D\leq 0.5\text{ mm}$ 和 $D>1.5\text{ mm}$ 的根系,NckG处理显著高于NdD处理($P<0.05$);对直径在 $0.5\text{ mm}<D\leq 1.0\text{ mm}$ 的根系,NckG处理显著高于NdD和NdG的2个处理($P<0.05$);对直径在 $1.0\text{ mm}<D\leq 1.5\text{ mm}$ 的根系,各处理间无显著性差异。

表2 不同直径范围内根表面积的差异

Table 2 Difference of root surface area with different diameter range mm

取样时期 Sampling date/d	处理 Treatment	直径范围 Diameter range			
		$0.0<D\leq 0.5$	$0.5<D\leq 1.0$	$1.0<D\leq 1.5$	$D>1.5$
21	NdD	19.29±4.01b	6.47±1.68b	0.77±0.36b	0.46±0.17b
	NckD	17.71±2.83b	3.68±1.18b	0.70±0.19b	1.15±0.68ab
	NdG	21.90±1.82b	9.44±3.59b	1.02±0.32b	0.60±0.14b
	NckG	40.87±2.75a	15.83±5.03a	2.18±0.51a	1.45±0.28a
28	NdD	42.11±2.90b	21.75±3.17b	3.01±0.25a	1.00±0.57b
	NckD	47.02±6.60ab	24.11±6.90ab	3.91±2.31a	4.86±4.33ab
	NdG	47.88±10.83ab	19.18±6.26b	3.69±1.99a	4.59±1.35ab
	NckG	58.10±6.60a	34.10±5.72a	8.38±4.79a	6.96±1.91a

3 讨论与结论

植物组织中所需的氮素营养几乎都是植物根系从土壤中获取的,因而植株根系生长发育的优劣对植株体

内氮素营养状况有着重要的影响^[19]。低氮条件下,能否在苗期建立强大的根系,对于整个生育期的氮吸收显得尤为重要,因此苗期根系形态的表现有可能与植物的

高效特性相关。有研究表明,在根系性状方面,氮高效基因型比氮低效基因型具有显著的优势^[8,13,20]。研究者们也提出了在氮高效育种中,应该注重对根系性状的选择^[4,8,21-22]。植物的根系形态如根长、根表面对矿质元素的吸收具有重要影响^[23]。例如,赵学强等^[24]研究认为,根长和根表面积是影响水稻氮素吸收的重要根系指标。该试验结果表明,在正常供氮条件下,氮高效黄瓜品种的地上部干鲜重、地下部干鲜重(28 d 除外)、根长、根表面积、根体积、根尖数各项指标均高于氮低效黄瓜品种,尤其氮高效品种的细根长也显著高于氮低效品种,能够说明氮高效品种具有较强的吸 N 能力。这与氮高效作物品种一般具有较长的总根长、较大的根系表面积以及较多的侧根数的观点相一致^[25]。

低氮条件下,与正常施氮条件相比,不同氮效率黄瓜各项生长指标均有明显减少的趋势。其中氮高效黄瓜品种的根尖数多于氮低效品种,这与姜爽^[9]认为的氮高效型黄瓜品种能够更好的抵御低氮胁迫,主要是因为高氮效黄瓜品种的根尖数可以显著高于低氮效黄瓜品种的结果相一致,即认为具有发达侧根的黄瓜品种更利于黄瓜根系对氮的高效吸收。但姜爽的试验结果显示,在低氮胁迫下,氮高效型黄瓜品种的根系长度、根系表面积是显著高于氮低效型品种的,而该试验中,2 个品种根系总长度、根系表面积等指标均无显著差异。猜测这种结果可能是由于 2 个试验的栽培基质不同引起的,为了降低伤根程度以及使根系形态指标测定更准确,该试验采用的是砂培浇灌营养液的方式,而姜爽^[9]采取的是土壤盆栽方式,砂培和土壤 2 种介质中氮营养的存在形式和分布不同,而且 2 种栽培基质中土壤动物及土壤微生物存在很大差异,BENDER 等^[26]试验表明,土壤生物丰富的环境中作物的产量和 N 吸收都会得到显著提高,所以该试验砂培低氮条件下可能抑制了氮高效黄瓜品种吸氮优势的发挥,使高氮效黄瓜品种的生长受到抑制,因此导致氮高效黄瓜品种的地上、地下部生物量等生长指标不显著优于氮低效黄瓜品种,也使根长及根表面积等根系形态指标差异不显著。同时,徐静静等^[16]的试验结果认为,黄瓜的结果初期可能更适合筛选黄瓜耐低氮品种,根系特征在结果初期差异更显著,而该试验的取样时期是苗期,也可能是导致 2 个品种间根系形态差异不显著的原因之一。前人研究表明,植物在缺氮条件下总根长、根构型都会发生改变^[16,27-28],并且 GRUBER 等^[29]研究也表明,与正常供氮(11.4 mmol/L)相比,拟南芥在中度氮胁迫条件下(0.55 mmol/L)根系生物量、总根长增加,但在严重氮胁迫条件下(0.11 mmol/L)根系生物量、总根长则降低。王洪玉等^[30]表明黄瓜不同生长阶段需 N 量不同,幼苗期随黄瓜生长需氮量逐渐增加,该试验中随着黄瓜的生长发育也可能导致了黄瓜的氮

胁迫加剧,导致高氮效黄瓜品种的根系生物量、总根长减少,而低氮效黄瓜品种可能耐低氮胁迫能力较强,而引起上述结果。

但与正常供氮条件相比较,尽管低氮条件下不同氮效率黄瓜幼苗根尖数量均有减少的趋向,但是氮高效品种受抑制程度要明显小于氮低效黄瓜品种。作物根系吸收营养的主要部分是细根,较多的细根、较大的表面积更利于黄瓜对养分的吸收与利用,所以因为氮高效黄瓜幼苗在正常供氮或低氮条件下均保持了良好的细根根长量,保证了自身良好的生长需求,所以仍可以体现黄瓜氮高效品种的优势。

黄瓜氮效率与根系形态特征密切相关,砂培条件下,正常供氮处理时,氮高效黄瓜幼苗的根长、根表面积、根体积、根尖数、根系平均直径以及根系干鲜重均高于氮低效黄瓜品种。氮高效品种在 $0.0\text{ mm} < D \leq 0.5\text{ mm}$ 的根长和根系表面积均高于氮低效品种,正常供氮下的黄瓜幼苗的地上干鲜重、根长、根表面积和根尖数均可作为氮高效黄瓜品种筛选的参考指标,而低氮条件下,根尖数可以作为筛选氮高效黄瓜品种的依据。

参考文献

- [1] JACKSON L E, BURGER M, CAVAGNARO T R. Roots, nitrogen transformations, and ecosystem services[J]. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, 59: 341-363.
- [2] JU X, KOU C, ZHANG F, et al. Nitrogen balance and groundwater nitrate contamination: Comparison among three intensive cropping systems on the North China Plain[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 143: 117-125.
- [3] de VRIES F T, BARDGETT R D. Plant-microbial linkages and ecosystem nitrogen retention: lessons for sustainable agriculture[J]. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2012(10): 425-432.
- [4] TILMAN D, CASSMAN K G, MATSON P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. *Nature*, 2002, 418: 671-677.
- [5] MIN J, ZHAO X, SHI W, et al. Nitrogen balance and loss in a greenhouse vegetable system in southeastern China[J]. *Pedosphere*, 2011, 21: 464-472.
- [6] LYNCH J P. Roots of the second green revolution[J]. *Australian Journal of Botany*, 2007, 55: 493-512.
- [7] HIREL B, LE GOUIS J, NEY B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2007, 58: 2369-2387.
- [8] WHITE P J, GEORGE T S, GREGORY P J, et al. Matching roots to their environment[J]. *Annals of Botany*, 2013, 112: 207-222.
- [9] 姜爽. 不同氮效率黄瓜品种筛选及其根系生物学差异[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [10] ZHOU X G, GUAN S N, WU F Z. Composition of soil microbial communities in the rhizosphere of cucumber cultivars with differing nitrogen acquisition efficiency[J]. *Applied Soil Ecology*, 2015, 95: 90-98.
- [11] 王启现, 王璞, 杨相勇, 等. 不同施氮时期对玉米根系分布及其活性的影响[J]. *中国农业科学*, 2003, 36(12): 1469-1475.
- [12] 鄂玉江, 戴俊英, 顾慰连. 玉米根系的生长规律及其与产量关系的研究 I. 玉米根系生长和吸收能力与地上部分的关系[J]. *作物学报*, 1988, 14(2): 149-154.

- [13] 王艳,米国华,陈范骏,等. 玉米氮素吸收的基因型差异及其与根系形态的相关性[J]. 生态学报,2003,23(2):297-302.
- [14] 戴林,李廷轩,张锡洲,等. 氮高效利用基因型水稻根系形态和活力特征[J]. 中国农业科学,2012,45(23):4770-4781.
- [15] 樊剑波,沈其荣,谭炯壮,等. 不同氮效率水稻品种根系生理生态指标的差异[J]. 生态学报,2009,29(6):3052-3058.
- [16] 徐静静,秦智伟,于明磊,等. 低氮胁迫下黄瓜根系相关指标的变化[J]. 中国蔬菜,2011(14):47-51.
- [17] 郭世荣. 无土栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [18] 裴孝伯,李世诚,张福漫,等. 温室黄瓜叶面积计算及其与株高的相关性研究[J]. 中国农学通报,2006,21(8):80-82.
- [19] MILLER A J, CRAMER M D. Root nitrogen acquisition and assimilation[J]. Plant and Soil,2004,274:1-36.
- [20] 魏海燕,张洪程,张胜飞,等. 不同氮利用效率水稻基因的根系形态与生理指标的研究[J]. 作物学报,2008,34(3):429-436.
- [21] LYNCH J P. Steep, cheap and deep: an ideotype to optimize water and N acquisition by maize root systems[J]. Annals of Botany,2013,112:347-357.
- [22] 春亮,陈范骏,张福锁,等. 不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J]. 植物营养与肥料学报,2005,11(5):615-619.
- [23] LÓPEZ-BUCIO J, CRUZ-RAMÍREZ A, HERRERA-ESTRELLA L. The role of nutrient availability in regulating root architecture[J]. Current Opinion in Plant Biology,2003(6):280-287.
- [24] 赵学强,施卫明. 水稻根系生长对不同氮形态响应的动态变化[J]. 土壤,2008(5):766-771.
- [25] 童依平,李继云,李振声. 农作物 N 素利用效率基因型差异及其机理[J]. 中国生态农业学报,1999,7(2):23-27.
- [26] BENDER S F, HEIJDEN M G A. Soil biota enhance agricultural sustainability by improving crop yield, nutrient uptake and reducing nitrogen leaching losses[J]. Journal of Applied Ecology,2015,52:228-239.
- [27] CHUN L, MI G, LI J, et al. Genetic analysis of maize root characteristics in response to low nitrogen stress[J]. Plant and Soil,2005,276:369-382.
- [28] LINKOHR B I, WILLIAMSON L C, FITTER A H, et al. Nitrate and phosphate availability and distribution have different effects on root system architecture of *Arabidopsis*[J]. The Plant Journal,2002,29:751-760.
- [29] GRUBER B D, GIEHL R F, FRIEDEL S, et al. Plasticity of the *Arabidopsis* root system under nutrient deficiencies[J]. Plant Physiology,2013,163:161-179.
- [30] 王洪玉,王林宝,周祖澄,等. 大棚黄瓜营养与土壤供肥特性的研究[J]. 土壤通报,1992,23(3):134-136.

Effect of Nutrient Solutions With Different Nitrogen Levels on the Growth and Root Morphology of Cucumber Seedlings in Sand Culture

YU Hongjie¹, ZHOU Xingang¹, GUAN Songna^{1,2}, WU Fengzhi¹

(1. Department of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Agricultural Science and Technology Promotion Center of Tangyuan, Tangyuan, Heilongjiang 154700)

Abstract: Cucumber cultivars, ‘Jinlyu 30’ and ‘Jinyou 2’, which had low and high nitrogen efficiencies, respectively, were used as test materials. Effects of nutrient solutions contained different levels of nitrogen (0.875, 3.500 mmol/L) on the growth and root morphology of cucumber cultivars with differing nitrogen efficiencies were investigated. The results showed that on the 21th and 28th day after cucumber seeding, the leaf area, aboveground and belowground dry biomass, total root length and surface area, root tip number of cucumber cultivar with high nitrogen efficiency were higher than that of cultivar with low nitrogen efficiency when supplied with normal nitrogen (3.500 mmol/L), under the condition of low nitrogen (0.875 mmol/L), the plant height and stem diameter of cultivar with low nitrogen efficiency were higher than that of cultivar with high nitrogen efficiency, but the other index between the two cultivars had no significant difference except the root tip number of cucumber cultivar with high nitrogen efficiency were higher than that of the cultivar with low nitrogen efficiency at 28 days. 21 days after seeding, the length and surface area of roots with diameter in the range of 0.0 mm < D ≤ 0.5 mm, 0.5 mm < D ≤ 1.0 mm and 1.0 mm < D ≤ 1.5 mm were higher for cultivar with high nitrogen efficiency supplied with normal nitrogen than other treatments, and there was no significant difference between the two cultivars when supplied with low nitrogen; 28 d after seeding, the length of roots with diameter in the range of 0.0 mm < D ≤ 0.5 mm were higher for cultivar with high nitrogen efficiency supplied with normal nitrogen than cultivars with low nitrogen efficiency supplied with normal nitrogen, and there was no significance between the treatments with low nitrogen either. Overall, aboveground and belowground dry biomass, root length and surface area, and root tip number can be used as reference indexes when screening cucumber cultivars with high nitrogen efficiency, and root tip number could provide a basis for choosing cucumber high nitrogen efficiency cultivar in low nitrogen condition.

Keywords: cucumber; nitrogen efficiency; root morphology; sand culture