



不同形态氮肥对设施黄瓜生长及氮素吸收的影响

班甜甜^{1,2}, 刘星雨³, 马超^{1,2}, 李晓慧^{1,2}, 陈卓^{1,2}

(1. 贵州省农业科学院 园艺研究所, 贵阳 550006; 2. 贵州省园艺工程技术研究中心,

贵阳 550006; 3. 安顺学院 农学院, 贵州安顺 561000)

摘 要 为了揭示同等氮水平下不同形态氮肥对设施黄瓜生长和氮素吸收利用的影响, 通过无土盆栽研究 6 种不同形态氮肥 (100% NH_4^+-N 、50% NO_3^--N + 50% NH_4^+-N 、100% NO_3^--N 、50% NO_3^--N + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、100% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 、50% NH_4^+-N + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 对黄瓜干质量、氮素吸收效率、吸收速率、 ^{15}N 转运量及总 N 的积累量的影响。结果表明: 叶干质量、果干质量、植株干质量、氮素吸收效率、氮素吸收速率以及根、叶、果、植株 ^{15}N 转运量和总 N 的积累量均在 50% NO_3^--N + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 时最大。茎部 ^{15}N 的转运量、总 N 的积累量在 50% NH_4^+-N + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 处理时达到最大。氮素的生理效率和根干质量具有相同的变化规律, 均在 100% NH_4^+-N 处理时达到最大值, 100% NO_3^--N 处理时最小; 叶片和果部 ^{15}N 转运量和总 N 的积累量明显高于根和茎。相关性和隶属函数分析表明 50% NO_3^--N + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 为黄瓜最优氮肥配方, 单一氮肥中 100% NO_3^--N 最有利于黄瓜生长和对 N 的吸收, 100% NH_4^+-N 最不适合黄瓜, 这一结论为设施黄瓜生产中氮肥的选择和使用提供了科学依据。

关键词 氮肥形态; 黄瓜; 生长; 氮素吸收利用

氮肥是一种重要的化肥, 各种作物对氮肥的需求量都很大, 生产中盲目追求产量而过度使用氮肥的现象屡见不鲜, 目前中国的氮肥利用率仅为 30%~35%^[1], 常用的氮肥形态有硝态氮、铵态氮和酰胺态氮, 研究表明氮素主要以硝态氮和铵态氮的形式被植物吸收, 并参与植物体内各种代谢过程^[2]; 而尿素(酰胺态氮)由于价格低廉且含氮量高, 是世界上最常用的农业氮肥, 约占世界氮肥消费总量的 50%^[3], 需在脲酶的作用下水解成碳酸铵, 进而生成碳酸氢铵和氢氧化铵才能被植物同化利用^[4]。随着研究的深入, 研究发现单一的氮肥有时会抑制植物的生长, 大多数作物更喜好混合氮肥^[5], 卢颖林等^[6]对番茄的研究发现硝铵混合使用增加了植物对营养元素的吸收, 管西林等^[7]发现适当配比的硝态氮和酰胺态氮可以提高辣椒的氮素利用率等。黄瓜(*Cucumis sativus* L.) 属葫芦科一年生蔓生或攀援草本植物, 具有较高的营养价值, 是我国各地普遍栽培的重要蔬

菜之一, NO_3^--N 被认为是对其生长最有效的氮素形式, 因此, KNO_3 或 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 在黄瓜生产中被广泛应用^[8-10]。但经常使用单一氮肥会破坏植物根际微生物种群, 加剧连作障碍, 并降低植物对氮肥的利用率, 造成资源浪费, 不利于农业的可持续发展。

因此, 选择合适的氮肥形态, 对于黄瓜生产中科学施肥, 促进黄瓜生产具有重要意义。以‘中农 26 号’为研究对象, 采用无土盆栽试验方法, 研究铵态氮、硝态氮、酰胺态氮以及两两混合 6 种氮肥处理对氮素利用的影响, 揭示黄瓜对不同形态氮肥的吸收及利用特性, 进而明确黄瓜对某种氮肥高效吸收的机制, 为黄瓜生产中氮肥的选择利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验黄瓜品种为‘中农 26 号’, 由中国农业科

收稿日期: 2022-03-28 修回日期: 2022-06-10

基金项目: 国家自然科学基金(31760596); 黔农科院国基后补助([2021]22 号); 黔农科院青年基金([2018]84 号); 贵州省现代农业产业技术体系建设子项(GZCYTX2011-0101); 黔农科院种质资源([2020]10 号)。

第一作者: 班甜甜, 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为蔬菜栽培与育种。E-mail: 1574601087@qq.com

通信作者: 马超, 男, 博士, 研究员, 研究方向为设施蔬菜营养栽培。E-mail: 68062822@qq.com

学院蔬菜花卉研究所提供。

1.2 试验设计

氮肥处理通过浇施不同的营养液来实现。营养液以 Hoagland 配方为基础,进行适当改变。各处理氮素含量相同,均为 14 mmol/L,pH 5.5,以 (NH₄)₂SO₄ 或者 NH₄H₂PO₄ 为铵态氮,Ca

(NO₃)₂·4H₂O 或 KNO₃ 为硝态氮,尿素为酰胺态氮,P、K、Ca、Mg 分别为 1、6、3.5、2 mmol/L,Fe、B、Cu、Mn、Mo、Zn 分别为 110、20.6、0.16、5.3、0.49、0.34 μmol/L。共 6 个处理(表 1),每个处理 3 次重复,每个重复 5 株,共 90 株。

表 1 不同处理的氮肥施用方案

Table 1 Nitrogen application plan under different treatments

处理 Treatment	氮肥形态 Nitrogen fertilizer form	处理 Treatment	氮肥形态 Nitrogen fertilizer form
NH	100% NH ₄ ⁺ -N	NO-UN	50% NO ₃ ⁻ -N + 50% CO(NH ₂) ₂
NH-NO	50% NO ₃ ⁻ -N + 50% NH ₄ ⁺ -N	UN	100% CO(NH ₂) ₂
NO	100% NO ₃ ⁻ -N	NH-UN	50% NH ₄ ⁺ -N + 50% CO(NH ₂) ₂

本试验于 2021 年 4—6 月份在贵州省农业科学院园艺研究所温室中进行。选取饱满、整齐一致的黄瓜种子浸种、催芽,用育苗基质育苗。二叶一心时定植在椰糠与珍珠岩(体积比 6:4)混合的盆中(直径 25 cm,高度 30 cm),每盆 1 株。当幼苗长到 8 片真叶时进行吊蔓。根据盆中基质的水分状况浇入营养液,使基质含水量保持在其持水量的 60%左右。每个塑料盆的底部放置一个托盘以收集渗漏的营养液并将其重新浇入基质。氮肥处理 42 d,试验中浇施的氮肥所含的氮素包括常规 N 和¹⁵N,每盆黄瓜共浇施 6.85 L 营养液。

1.3 测定指标及方法

黄瓜植株经过不同形态氮肥处理 42 d 后收获,将根、茎、叶、果各部分分开烘干称量,计算干质量;用凯氏定氮仪(中国上海 K9840)分析 N 浓度^[11],并计算氮含量^[12],根据植株干物质含量、植株总 N 积累量与介质供氮量分析计算氮素吸收效率、生理效率;并通过含¹⁵N 同位素(丰度为 10%)的 3 种不同形态氮肥处理黄瓜,根据同位素示踪技术分析氮素(¹⁵N 标记的)在各器官的转运情况。氮素吸收速率试验时将黄瓜幼苗根系浸入¹⁵N 标记的不同形态氮肥营养液中培养一定时间,烘干,用元素分析仪测定氮¹⁵N 含量并计算吸收速率。各指标的计算公式如下:

黄瓜不同部位(根、茎、叶、果)总 N 积累量 = 植株叶(茎、果、根)干物质质量 × 叶(茎、果、根)氮素含量

黄瓜植株总 N 积累量 = ∑ 植株叶(茎、果、根)干物质质量 × 叶(茎、果、根)氮素含量

氮素吸收效率(NUTE) = 总 N 积累量/介质

供氮量

氮素生理效率(NPE) = 植株干物质量/总 N 积累量

器官(根、茎、叶、果)¹⁵N 转运量(g) = 器官总 N 积累量(g) × 植物样品中¹⁵N 原子百分超%/肥料中¹⁵N 原子百分超%

植株¹⁵N 总转运量 = ∑ 器官(根、茎、叶、果)氮(¹⁵N 标记)转运量

氮素吸收速率(mg/min) = 植株全氮量(mg)/浸入时间(min) × 植物样品中¹⁵N 原子百分超%/肥料中¹⁵N 原子百分超%

原子百分超 Ndff(%) = 样品¹⁵N 丰度 - 0.366 3%/肥料度 - 0.366 3% × 100%

样品¹⁵N 丰度(%)在中国农业科学院农产品加工研究所测定

原子百分超 Ndff 指植株器官从肥料中吸收分配到的¹⁵N 量对该器官全氮量的贡献率,反映了植株器官对肥料¹⁵N 的吸收征调能力,其中 0.366 3%为自然丰度。

1.4 数据分析

利用模糊数学中隶属函数的统计方法,对各处理的指标进行隶属函数换算,统计其加权值,来评价各处理的耐涝性。

计算公式: $R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$

式中 X_i 为指标测定值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为所有处理方法某一指标的最大值和最小值。如果某一指标与氮肥的优劣呈负相关,则利用反隶属函数进行转换。

计算公式: $R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$

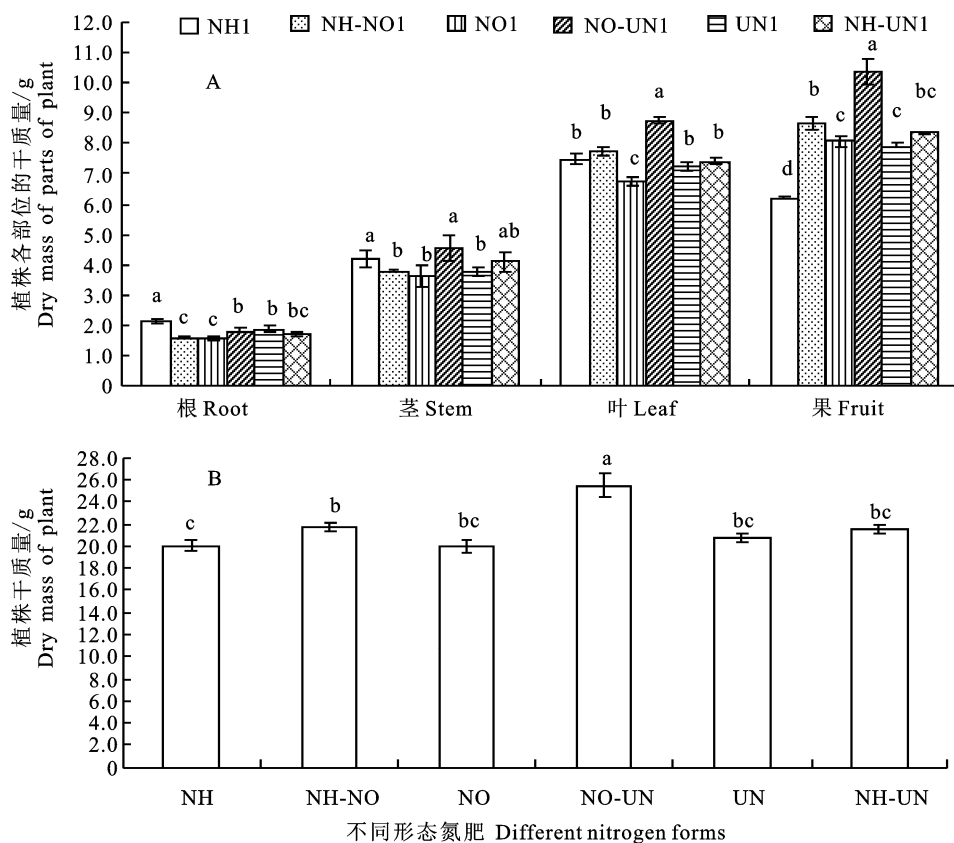
采用 Excel 2003 整理数据并绘制图表,用 Spss 22.0 软件分析显著性及相关性。

2 结果与分析

2.1 不同形态氮肥对黄瓜根、茎、叶、果及植株干质量的影响

不同形态氮肥对黄瓜根、茎、叶、果不同部位干质量的影响不同, NH ($100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$) 处理时根系干质量最大, 为 2.13 g, NO ($100\% \text{NO}_3^--\text{N}$) 处理时干质量最小, 两者之间差异显著 ($P < 0.05$) (图 1-A), 说明 $100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$ 更有利于黄

瓜根系的生长; NO-UN ($50\% \text{NO}_3^--\text{N} + 50\% \text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 处理茎的干质量达到最大值, 与 NH ($100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$) 处理差异不显著, 3 种单一氮肥中 $100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$ 更有利于黄瓜茎的生长; NO-UN ($50\% \text{NO}_3^--\text{N} + 50\% \text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 处理时茎、叶、果和植株干质量均达到最大值, 分别为 4.57 g、8.76 g、10.35 g 和 25.52 g, 其余混合氮肥处理的叶、果和植株干质量均高于单一氮肥 (图 1-A、图 1-B), 因此, 混合氮肥处理更有利于黄瓜叶、果以及植株干物质积累。



相同部位中不同的小写字母分别表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下图及表同此

The different lowerletters on the same bars indicate significant differences between different treatments ($P < 0.05$), the same below

图 1 黄瓜植株不同部位的干质量及不同形态氮肥对黄瓜干物质的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen forms on dry matter of different parts and plant of cucumber

2.2 不同形态氮肥对黄瓜氮素吸收效率及生理效率的影响

不同形态氮肥处理对黄瓜氮素的吸收效率和生理效率影响不同, NO-UN ($50\% \text{NO}_3^--\text{N} + 50\% \text{CO}(\text{NH}_2)_2$) 处理时黄瓜对氮素的吸收效率达到最大值 0.584 8, NH ($100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$) 处理时吸收效率最小, 两者之间差异显著 ($P < 0.05$) (图 2-A); 而黄瓜对氮素的生理效率在 NH ($100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$) 处理时达到最大值, NH-NO

($50\% \text{NH}_4^+-\text{N} + 50\% \text{NO}_3^--\text{N}$) 次之, 两者之间差异不显著, NO ($100\% \text{NO}_3^--\text{N}$) 处理时生理效率最低 (图 2-B); $100\% \text{NO}_3^--\text{N}$ 处理增加了黄瓜对氮素的吸收效率, 但对氮素生理效率的作用相反, $100\% \text{NH}_4^+-\text{N}$ 处理有利于黄瓜生理效率的提高却降低了吸收效率。

2.3 不同形态氮肥对黄瓜氮素 (^{15}N) 转运量的影响

利用 ^{15}N 同位素示踪技术分析可知, 不同形

态氮肥对黄瓜各部位¹⁵N 转运量的影响不同。根、叶、果以及植株的总转运量均在 NO-UN (50%NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂)时达到最大值,分别为 0.026、0.144、0.135、0.340 g,NO(100% NO₃⁻-N)处理时果和植株的¹⁵N 转运量仅次于最大值,分别比 NO-UN (50% NO₃⁻-N + 50% CO

(NH₂)₂)处理低 9.86%和 3.34%;茎部氮素的转运量在 NH-UN (50% NH₄⁺-N + 50% CO (NH₂)₂)处理时达到最大值,且与其他处理之间差异显著(*P*<0.05)(表 2)。综上可知,不同部位¹⁵N 转运量均在混合氮肥处理时达到最大值,混合氮肥处理更有利于黄瓜对氮素的转运。

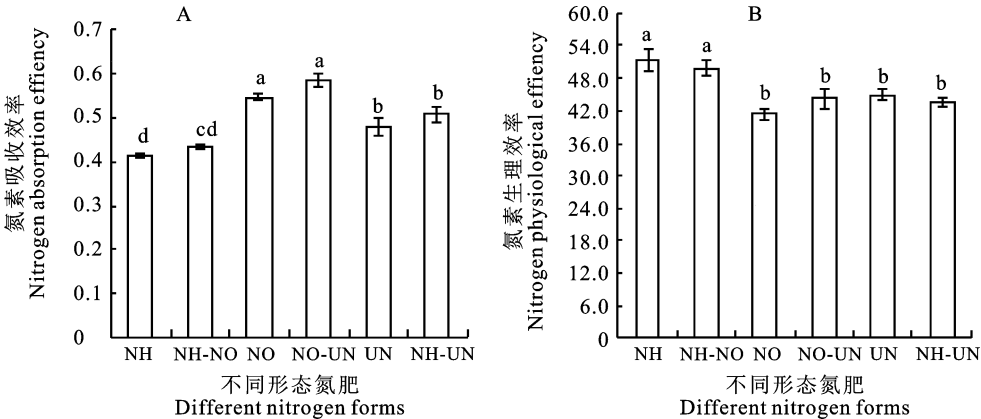


图 2 不同形态氮肥对黄瓜氮素吸收效率及生理效率的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen forms on nitrogen absorption and physiological efficiency of cucumber

表 2 不同形态氮肥处理对黄瓜各器官¹⁵N 转运量的影响($\bar{x} \pm s$)

处理 Treatment	¹⁵ N 转运量/g ¹⁵ N transshipment volume				
	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	果 Fruit	植株 Plant
NH	0.025±0.001 ab	0.027±0.002 d	0.072±0.001 d	0.086±0.005 d	0.210±0.006 e
NH-NO	0.021±0.001 b	0.031±0.002 c	0.093±0.010 c	0.107±0.007 c	0.253±0.009 d
NO	0.019±0.001 b	0.038±0.001 b	0.143±0.004 a	0.123±0.001 b	0.329±0.003 b
NO-UN	0.026±0.002 ab	0.035±0.001 b	0.144±0.034 a	0.135±0.007 a	0.340±0.006 a
UN	0.025±0.002 ab	0.038±0.002 b	0.104±0.007 b	0.117±0.008 bc	0.285±0.005 c
NH-UN	0.025±0.001 ab	0.041±0.002 ab	0.096±0.004 bc	0.112±0.003 c	0.274±0.005 c

2.4 不同形态氮肥对黄瓜植株不同部位总 N 积累量的影响

不同形态氮肥对黄瓜不同部位总 N 积累量(以干质量计)的影响不同,根部总 N 积累量在 NO-UN(50%NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂)处理时

达到最大值,与 NH(100% NH₄⁺-N)、UN 和 NH-UN(50%NH₄⁺-N+50%CO(NH₂)₂)处理之间差异不显著(*P*>0.05),表明单一氮肥中 NH₄⁺-N 更有利于根对 N 的积累(图 3);茎部总 N 积累量在 NH-UN (50% NH₄⁺-N + 50%

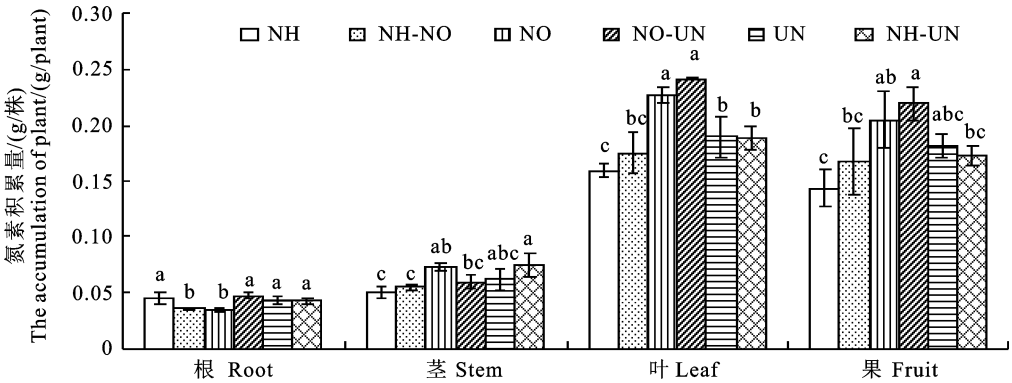


图 3 不同形态氮肥对黄瓜植株不同部位总 N 积累量的影响

Fig. 3 Effects of different nitrogen forms on total N accumulation in different positions of cucumber

CO(NH₂)₂)处理时达到最大值 0.075 g/株,50% NH₄⁺-N+50%CO(NH₂)₂ 更有利于茎部 N 的积累;NO-UN(50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂) 处理时叶和果的总 N 积累量均为最大值,分别为 0.241 g/株和 0.219 g/株,NO-UN 处理更有利于黄瓜叶和果的 N 积累,NH(100% NH₄⁺-N)处理时茎、叶、果 N 积累量均为最小值,NH 处理最不利于黄瓜茎、叶、果对 N 的积累。

2.5 不同形态氮肥对黄瓜氮素(¹⁵N 标记)吸收速率的影响

不同形态氮肥处理对氮素吸收速率的影响不同,NO-UN(50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂)处理时吸收速率最大,为 63.21 mg/min,与其他处理之间差异显著($P<0.05$);NO(100% NO₃⁻-N)处理时黄瓜对 N 的吸收速率高于 NH(100% NH₄⁺-N)和 UN(100%CO(NH₂)₂)处理。可见,100%NO₃⁻-N 更有利于 N 的吸收;混合氮肥处理时氮素的吸收速率均高于单一氮肥,因此,混合氮肥更能促进黄瓜对 N 的吸收(图 4)。

2.6 黄瓜各指标的相关性分析

根据表3中对黄瓜植株各指标之间的相关性

表 3 黄瓜植株各指标之间的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of growth indexes of cucumber plants

	植株干质量 Dry mass of plant	氮素吸收效率 N absorption efficiency	氮素生理效率 N physiological efficiency	植株 ¹⁵ N 转运量 ¹⁵ N transshipment in plant	植株总 N 积累量 Total N accumulation of plant	氮素吸收速率 N absorption rate
植株干质量 Dry mass of plant	1.00					
氮素吸收效率 N absorption efficiency	0.807 **	1.00				
氮素生理效率 N physiological efficiency	-0.338	-0.826 **	1.00			
植株 ¹⁵ N 转运量 ¹⁵ N transshipment of plant	0.718 **	0.933 **	-0.812 **	1.00		
植株总 N 积累量 Total N accumulation of plant	0.719 **	0.929 **	-0.801 **	0.939 **	1.00	
氮素吸收速率 N absorption rate	0.878 **	0.723 **	-0.329	0.601 **	0.637 **	1.00

注: * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

Note: * indicates significant correlation, and ** indicates extremely significant correlation.

2.7 不同形态氮肥处理下黄瓜各指标的隶属函数数值比较

根据不同氮肥处理隶属函数加权值的大小对 6 种氮肥处理的优劣进行排序,依次为 NO-UN(50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂)、NO(100% NO₃⁻-N)、NH-UN(50% NH₄⁺-N+50%CO

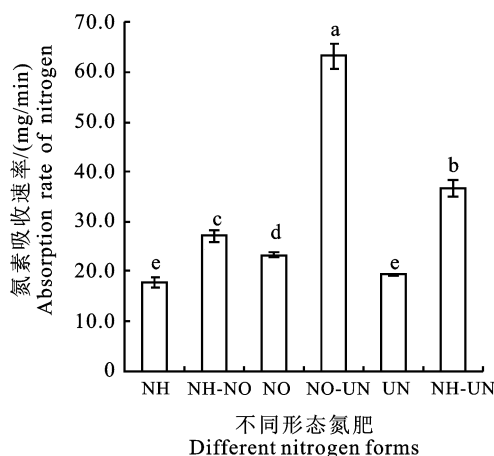


图 4 不同形态氮肥对黄瓜氮素吸收速率的影响

Fig. 4 Effects of different nitrogen forms on N absorption rate of cucumber

分析可知,不同指标之间的相关性不同。氮素的生理效率与其他指标之间均为负相关,与氮素吸收效率、植株¹⁵N 转运量及植株总氮积累量之间的负相关性达到极显著水平,与其他指标之间的负相关性不显著;植株干质量、氮素吸收效率、植株¹⁵N 转运量、植株总氮积累量、氮素吸收速率之间均呈极显著性正相关。

(NH₂)₂)、UN(100%CO(NH₂)₂)、NH-NO(50% NH₄⁺-N+50% NO₃⁻-N)、NH(100% NH₄⁺-N) (表 4)。因此,NO-UN(50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂)是最优的黄瓜氮肥形态,单一氮肥中 NO(100% NO₃⁻-N)更有利于黄瓜的生长和对氮素的吸收利用。

表 4 不同形态氮肥处理时黄瓜各指标的隶属函数值

Table 4 Subordinate function values of cucumber indexes under treatments of different forms of nitrogen fertilizer

处理 Treatment	R(1)	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(s)
NH	0	0	0	0	0	0	0
NH-NO	0.316 8	0.019 4	0.849 4	0.325 6	0.210 0	0.206 4	1.927 6
NO	0.000 5	0.773 7	1	0.915 0	0.838 6	0.121 9	3.649 7
NO-UN	1	1	0.721 2	1	1	1	5.721 2
UN	0.144 8	0.062 5	0.645 0	0.571 4	0.470 0	0.036 1	1.929 8
NH-UN	0.279 8	0.092 5	0.768 5	0.491 9	0.479 6	0.417 7	2.530 0

注:表中R(1)、R(2)、R(3)、R(4)、R(5)、R(6)、R(s)分别代表植株干质量、氮素吸收效率、氮素生理效率、植株¹⁵N的转运量、植株总N积累量、氮素吸收速率及各指标的加权值。

Note: In the table R(1), R(2), R(3), R(4), R(5), R(6) and R(s) indicate dry mass of plant, N absorption efficiency, N physiological efficiency, ¹⁵N transshipment in plant, total N accumulation of plant, N absorption rate and accumulative value, respectively.

3 讨论

N 是植物生长发育不可缺少的元素之一,对植物的生长发育有着重要作用。氮肥是植物获得外源氮素的主要途径,常用的氮肥有铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)和酰胺态氮[CO(NH₂)₂],本试验发现不同形态氮肥对黄瓜的生长及氮素的吸收影响不同。

3.1 不同形态氮肥对黄瓜生长的影响

生物量是反应植株生长的一个重要指标,因此,本试验主要以黄瓜植株的干物质来衡量黄瓜的生长情况。结果表明 100%NH₄⁺-N 处理更有利于黄瓜根部干物质的积累,100%NO₃⁻-N 处理则抑制了根部干物质的积累,这一结果与王玉强^[13]对紫花苜蓿的研究和 Schortemeyer 等^[14]对玉米的研究结论完全一致。研究发现根对 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的吸收方式不同,1 分子 NH₄⁺ 的跨膜运输需消耗 1 分子 H⁺ 驱动力^[15],而根吸收 1 分子的 NO₃⁻ 则需协同吸收 2 分子 H⁺^[16],因此,NH₄⁺-N 的吸收消耗的能量更少,剩余能量保证植株地下部分的生长。叶、果以及植株的干质量均在 50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂ 处理时达到最大值,说明硝态氮和酰胺态氮的混合氮肥更有利于黄瓜地上部分和整个植株的生长,这一结论与黄翠^[17]对小麦的研究一致。NH₄⁺-N 是以阳离子的形式吸收的,吸收过程伴随着 H⁺ 的排出,当 NH₄⁺ 吸收过多时会造成根际环境的酸化,从而抑制植株的生长,因此,100%NH₄⁺-N 处理最不利于黄瓜植株的生长,NO₃⁻ 进入根部后被运输到地上部分同化利用^[18],且 CO(NH₂)₂ 不带电荷,减少对植株的不良影响,因此,50% NO₃⁻-N

+50%CO(NH₂)₂ 处理更有利于地上部分的生长,而叶和果在整个植株的干质量中占比较大,因此,植株干质量的变化与地上部分一致。50% NH₄⁺-N+50% NO₃⁻-N 和 50% NH₄⁺-N+50% CO(NH₂)₂ 处理时黄瓜植株的干质量均高于单一氮肥,表明混合氮肥更有利于黄瓜植株的生长,对苜蓿、脐橙及猴樟幼苗^[19-21]的研究具有相同的结果。

3.2 不同形态氮肥对黄瓜氮素吸收的影响

氮素的吸收效率和积累量在 50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂ 时达到最大值,其他混合氮肥处理下氮素的吸收效率均表现较好,说明混合氮肥处理更有利于植株对氮素的吸收,与刘文涛等^[22]对紫花苜蓿和孙克刚等^[23]对小麦的研究结论一致。100% NO₃⁻-N 处理时氮素的吸收效率仅次于 50% NO₃⁻-N+50% CO(NH₂)₂ 处理,而 100%NH₄⁺-N 处理时氮素的吸收效率和积累量最低这一结论与魏荣石^[24]对苹果砧木的研究结论一致,是因为过多的 NH₄⁺-N 导致植株铵中毒,抑制了对 N 的吸收。氮素生理效率等于植株干质量与植株总 N 积累量的商,因此,变化规律与氮素的积累量完全不同。

NO₃⁻-N 处理时黄瓜对氮素的吸收速率高于 NH₄⁺-N 和 CO(NH₂)₂,是因为对于喜硝植物黄瓜而言,营养液中铵态氮比例过高时,植株会消耗更多的能量用于 NH₄⁺ 的转移而减少了其他生理作用需要的能量,降低植物体内氮同化能力,从而影响植株对氮的吸收^[25]。大量研究^[26-28]表明,混合氮肥更有利于植物对氮素的吸收,与本试验中 50% NO₃⁻-N+50%CO(NH₂)₂ 处理时黄瓜的氮素吸收速率、植株¹⁵N 转运量和总 N 积累量均达

到最大值这一结果一致,这是因为单一的 NO_3^- -N和 NH_4^+ -N在吸收时伴随着与其他阴离子和阳离子的竞争,混合氮肥在一定程度上可以中和这种竞争,保证N的吸收。黄瓜叶、果以及植株的 ^{15}N 转运量和总N积累量均在50% NO_3^- -N+50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 处理时达到最大值,这一结果与杜海燕等^[29]对橡胶树的研究一致,这是因为50% NO_3^- -N+50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 处理时黄瓜叶、果、植株干质量和氮的吸收速率均为最大值,最能促进黄瓜的生长和对氮素的吸收。茎为营养物质的运输器官,与吸收器官根,同化和贮存器官叶片与果的功能不同,因此,茎部 ^{15}N 的转运量、总N的积累量的变化规律与其他部位不同,在50% NH_4^+ -N+50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 处理时达到最大值。黄瓜不同部位的干物质质量对N的积累和转运影响较大,叶和果干物质质量高于根和茎,因此,叶和果 ^{15}N 转运量和总N的积累量明显高于根和茎。

4 结 论

由于不同形态氮肥处理对黄瓜各指标的影响不同,相关性分析明确了各指标间的相关性,结果表明,各指标之间的相关程度不一致,单一指标不能判断不同形态氮肥的优劣,因此,利用模糊数学中隶属函数的统计方法,对不同处理的各指标进行隶属函数换算,统计其隶属函数值,来综合评价不同形态氮肥对黄瓜生长及N吸收的影响更为科学严谨。根据隶属函数值排序可知50% NO_3^- -N+50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ 为黄瓜最优氮肥配方,单一氮肥中 NO_3^- -N最有利于黄瓜的生长和对N的吸收, NH_4^+ -N则最不适合黄瓜。

参考文献 Reference:

[1] 诸海焘,朱 恩,余廷园,等.水稻专用缓释复合配方肥增产效果研究[J].中国农学通报,2014,30(3):56-60.
ZHU H T,ZHU E,YU T Y,*et al.* Effectsof slowed release compound fertilizeron rice yield[J]. *Chinese Agricultral Science Bulletin*,2014,30(3):56-60.

[2] 郑万钧.中国树木志[M].北京:中国林业出版社,1982:507-508.
ZHENG W J. Chinese Dendrography[M]. Beijing: China Forestry Press,1982:507-508.

[3] ANTONIO L,MARIA P P,FABRIZIO A,*et al.* Physiological and molecular responses in tomato under different forms of N nutrition[J]. *Plant Physiol*,2017,216(5):17-25.

[4] 任华中,张福漫,刘步洲.不同形态氮素对基质栽培甜椒生

长发育的影响[J].北京农业大学学报,1992,18(3):275-279.

REN H ZH,ZHANG F M,LIU B ZH. Effect of different nitrogen forms on growth,development and yield in media-cultural sweet pepper[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis*,1992,18(3):275-279.

- [5] ZANIN L,ZAMBONI A,MONTE R,*et al.* Transcriptomic analysis high lights reciprocal interactions of urea and nitrate for nitrogen acquisition by maize roots[J]. *Plant Cell Physiol*,2015,56(3):532-548.
- [6] 卢颖林,李庆余,徐新娟,等.不同形态氮素对番茄幼苗体内营养元素含量的影响[J].中国农学通报,2010,26(21):122-130.
LU Y L,LI Q Y,XU X J,*et al.* Effects of different nitrogen forms on nutrient element contents in tomato seedlings [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*,2010,26(21):122-130.
- [7] 管西林,王孝忠,刘 彬,等.三类土壤不同酰胺硝比供应下的辣椒产量、品质和氮素损失[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):730-739.
GUAN X L,WANG X ZH,LIU B,*et al.* Yield,fruit quality of pepper and nitrogen loss under different amide/nitrate ratios in three types of soils [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*,2017,23(3):730-739.
- [8] KOTSIRAS A,OLYMPIOS C M,DROSPOULOS J,*et al.* Effects of nitrogen form and concentration on the distribution of ions within cucumber fruits [J]. *Scientia Horticulturae*,2002,95(3):175-183.
- [9] GANGWAR S,SINGH V P. Indole acetic acid differently changes growth and nitrogen metabolism in *Pisum sativum* L. seedlings under chromium (VI) phytotoxicity: Implication of oxidative stress [J]. *Scientia Horticulturae*,2011,129(2):321-328.
- [10] LU J M,YANG R T,WANG H C,*et al.* Stress effects of chlorate on Longan(*Dimocarpus longanlour*) trees: changes in nitrogen and carbon nutrition [J]. *Horticultural Plant Journal*,2017,3(6):237-246.
- [11] 廖 红,严小龙.高级植物营养学[M].北京:科学出版社,2003:38-41.
LIAO H,YAN X L. Mineral Nutrition of Higher Plants [M]. Beijing: Science Press,2003:38-41.
- [12] ZHAO S J. Techniques of Plant Physiology Experiment [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press,2008:159-165.
- [13] 王玉强.不同形态氮素对紫花苜蓿一土壤反馈的影响[D].江苏扬州:扬州大学,2020.
WANG Y Q. Effect of different nitrogen forms on the alfalfa-soil feedback [D]. Yangzhou Jiangsu: Yangzhou University,2020.
- [14] SCHORTEMAYER M,FEI L B,STAMP P. Root morphology and nitrogen uptake of maize simultaneously supplied with ammonium and nitrate in a split-root system

- [J]. *Annals of Botany*, 1993, 72(2): 107-115.
- [15] MENGEL K, KIRKBY E A. Principles of Plant Nutrition [M]. 3rd ed. London: Kluwer Academic Publishers, 1982.
- [16] ULLRICH W R, NAVOCKY A. Nitrate-dependent membrane potential changes and their induction in *lemna gibba* [J]. *Plant Science Letters*, 1981, 22: 211-217.
- [17] 黄 翠. 氮素形态对冬小麦分蘖和产量的调控及生理基础 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2020.
- HUANG C. Regulation and physiological basis of nitrogen forms on tillers and yield of winter wheat [D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2020.
- [18] MENGEL K, VIRO M, HEHL G. Effect of potassium on uptake and incorporation of ammonium-nitrogen of rice plants [J]. *Plant and Soil*, 1983, 44(3): 547-558.
- [19] 叶 芳, 刘晓静, 张进霞. 氮素形态对‘甘农 3 号’苜蓿不同生育期氮代谢的影响 [J]. *草地学报*, 2015, 23(2): 285-293.
- YE F, LIU X J, ZHANG J X. Effects of nitrogen forms on the nitrogen metabolism of alfalfa ‘Gannong No. 3’ variety at different growth stages [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(2): 285-293.
- [20] 樊卫国, 葛会敏. 不同形态及配比的氮肥对枳砧脐橙幼树生长及氮素吸收利用的影响 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(13): 2666-2675.
- FAN W G, GE H M. Effects of nitrogen fertilizer of different forms and ratios on the growth, nitrogen absorption and utilization of young navel orange trees grafted on *Poncirus trifoliata* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(13): 2666-2675.
- [21] 韩浩章, 张丽华, 王晓立, 等. 不同氮素形态对比对猴樟幼苗生长发育的影响 [J]. *北方园艺*, 2019(6): 96-101.
- HAN H ZH, ZHANG L H, WANG X L, *et al.* Effects of different nitrogen forms and ratios on growth and development of *Cinnamomum bodinieri* seedlings [J]. *Northern Horticulture*, 2019(6): 96-101.
- [22] 刘文涛, 王玉强, 孙盛楠, 等. 氮素形态对不同茬次紫花苜蓿氮素积累及利用的影响 [J]. *草业科学*, 2021, 38(4): 716-725.
- LIU W T, WANG Y Q, SUN SH N, *et al.* Effects of nitrogen forms on nitrogen accumulation and utilization of alfalfa in different stubbles [J]. *Pratacultural Science*, 2021, 38(4): 716-725.
- [23] 孙克刚, 张 琨, 杨焕焕, 等. 尿素硝酸铵肥料在冬小麦上增产效果及氮肥利用率研究 [J]. *山西农业科学*, 2018, 46(8): 1317-1320.
- SUN K G, ZHANG K, YANG H H, *et al.* Study on increasing yield and nitrogen use efficiency of urea-ammonium nitrate fertilizer in winter wheat [J]. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences*, 2018, 46(8): 1317-1320.
- [24] 魏荣石. 不同硝铵比对苹果矮化砧木 M9T337 和 M26 幼苗根系氮素吸收和利用的影响 [D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2019.
- WEI R SH. Effects of different ammonium nitrate ratios on nitrogen uptake and utilization in roots of dwarfing rootstocks M9T337 and M26 seedlings [D]. Tai'an Shandong: Shandong Agricultural University, 2019.
- [25] RAAB T K, TERRY N. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Betavulgaris* L [J]. *Plant Physiology*, 1994, 105(4): 1159-1166.
- [26] 邢素芝, 汪建飞, 李孝良, 等. 氮肥形态及配比对菠菜生长和安全品质的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(2): 527-534.
- XING S ZH, WANG J F, LI X L, *et al.* Different nitrogen fertilizers and ratios effect on growth, safety and quality of spinach [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2015, 21(2): 527-534.
- [27] 张超一, 樊小林. 铵态氮及硝态氮对比对香蕉幼苗氮素吸收动力学特征的影响 [J]. *中国农业科学*, 2015, 48(14): 2777-2784.
- ZHANG CH Y, FAN X L. Dynamic kinetic characteristics of different ratios of ammonium and nitrate absorbed by banana seedlings [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, 48(14): 2777-2784.
- [28] 王 成, 李昌珍, 廖 钰, 等. 氮肥形态对槟榔幼苗全氮含量、土壤有效氮和酶活性的影响 [J]. *分子植物育种*, 2021, 19(19): 6564-6573.
- WANG CH, LI CH ZH, LIAO Y, *et al.* Effects of nitrogen forms on total nitrogen content, soil available nitrogen and enzyme activities of *Areca catechu* seedlings [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2021, 19(19): 6564-6573.
- [29] 杜海燕, 王大鹏, 王文斌, 等. 应用¹⁵N 示踪技术研究橡胶树幼苗对不同氮肥的吸收和分配 [J]. *热带作物学报*, 2015, 36(6): 1019-1024.
- DU H Y, WANG D P, WANG W B, *et al.* Different nitrogen fertilizers absorption and distribution in rubber tree (*Hevea brasiliensis*) seedlings using ¹⁵N tracer technique [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2015, 36(6): 1019-1024.

Effects of Different Nitrogen Forms on Facilities *Cucumis sativus* L. Growth and Nitrogen Absorption

BAN Tiantian^{1,2}, LIU Xingyu³, MA Chao^{1,2}, LI Xiaohui^{1,2} and CHEN Zhuo^{1,2}

(1. Horticultural Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China; 2. Guizhou Province

Horticulture Engineering Technology Research Center, Guiyang 550006, China;

3. College of Agriculture, Anshun University, Anshun Guizhou 561000, China)

Abstract In order to reveal the effects of different nitrogen forms on the growth and nitrogen uptake and utilization of cucumber under the same nitrogen level, the effects of 6 different forms of nitrogen (100% $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 50% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ + 50% $\text{NH}_4^+\text{-N}$, 100% $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 50% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 100% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, 50% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) on the dry mass, nitrogen absorption efficiency, nitrogen absorption rate and transport of ^{15}N and the total accumulation of N in *Cucumis sativus* were studied by soil-free pot experiment. The results showed that the leaf dry mass, fruit dry mass, plant dry mass, nitrogen absorption efficiency, nitrogen absorption rate, ^{15}N transport and total N accumulation of roots, leaves, fruits and plants reached the maximum under treatment of 50% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. The stem ^{15}N transport and total N accumulation reached the maximum under treatment of 50% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$. Nitrogen physiological efficiency and root dry mass had the same change rule, which reached the maximum under 100% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ treatment and reached minimum under 100% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ treatment. ^{15}N transport and total nitrogen accumulation in cucumber leaves and fruits were significantly higher than those in roots and stems. Correlation and membership function analysis showed that 50% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ + 50% $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ is the best nitrogen fertilizer formula for cucumber. In single nitrogen fertilizer, 100% $\text{NO}_3^-\text{-N}$ is the most conducive to cucumber growth and N absorption, and 100% $\text{NH}_4^+\text{-N}$ is not suitable for cucumber growth. This study provided a scientific basis for the selection and use of nitrogen fertilizer in the production of greenhouse cucumbers.

Key words Nitrogen fertilizer forms; Cucumber; Growth; Nitrogen absorption and utilization

Received 2022-03-28

Returned 2022-06-10

Foundation item National Natural Science Foundation of China (No. 31760596); Post-subsidy Project of National Natural Science Foundation of China of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (No. [2021]22); Youth Fund of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (No. [2018]84); Sub-Project for Construction of Guizhou Province Modern Agricultural Industrial Technology System-‘Culture and Nutrition Function Laboratory’ (No. GZCYTX2011-0101); Germplasm Resources of Guizhou Academy of Agricultural Sciences (No. [2020]10).

First author BAN Tiantian, female, master, assistant research fellow. Research area: vegetable cultivation and breeding. E-mail: 1574601087@qq.com

Corresponding author MA Chao, male, Ph. D, research fellow. Research area: facility vegetable nutrition cultivation. E-mail: 68062822@qq.com

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)