

水培营养液中尿素的转化和 蔬菜对尿素作氮源的反应

罗 健

(作物营养与施肥研究室)

摘要 当尿素为营养液唯一氮源时, 1. 在恒温培养的去离子水配制的营养液中, 没有接触过菜根的, 尿素的转化不明显。接触过菜根的, 尿素的转化明显, 温度愈高, 转化速度愈快; 此时, 营养液的 pH 值在 5.0~6.3 范围内变动。2. 自然变温条件下, 在未接触过菜根的自来水和去离子水配制的营养液中, 尿素均发生明显的转化, 其氨化作用和硝化作用几乎是同时进行的; 至培养的第三周末, 约 90% 的尿素发生转化, 生成的 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 各约占尿素转化总量的 50%; 在尿素转化过程中, 营养液 pH 值的变动范围均为 4.2~6.9。

用尿素作氮源的营养液分别栽培生菜 (*Lactuca sativa* L.) 和蕹菜 (*Ipomoea aquatica*), 1. 蕹菜没有不良反应, 生菜则出现受损害症状。2. 营养液的 pH 值均可降至 4.0 以下。3. 蕹菜根系的脲酶活性明显低于生菜。

关键词 水培; 尿素; 生菜; 蕹菜; pH 值; 脲酶活性

在土壤和固体基质中, 尿素转化的规律和影响条件已有明确的阐述。普遍认为, 尿素可在脲酶的参与下水解成碳酸铵, 碳酸铵既可分解形成游离 NH_3 , 又可进一步经硝化作用形成 NO_2^--N 和 NO_3^--N ^[6,7,10,12]。

尿素作水培营养液氮源也有不少研究^[3], 但关于在水培营养液中尿素的转化状况以及作物对尿素作氮源的反应的报道还不多见。为使尿素能更好地作水培营养液的氮源, 有必要探讨水培营养液中尿素转化的特点, 以及不同菜类对尿素作营养液氮源的反应。

1. 材料与方法

试验用营养液在日本园艺试验配方^[4]的基础上作适当修改而成, 其化合物组成及浓度见表 1。

1.1 尿素在营养液中转化的试验

分别在自然变温和恒温条件下进行, 不种作物, 所有处理均为 4 次重复。

1.1.1 自然变温培养 同时用自来水和去离子水配制尿素作氮源的营养液。在容积约 7 升的塑料盆内盛液 4 升, 加盖, 用水泵给溶液充气 (上、下午各 1 小时)。置于玻璃网室内, 于 1990 年 6 月 5 日至 7 月 3 日和 7 月 3 日至 30 日 (气温分别为 21~41℃ 和 22~43℃)

* 本文是作者硕士论文的一部分, 属广东省科委“七·五”重点项目《蔬菜无土栽培技术研究》的内容之一。

1992-05-18 收稿

分别培养四周。

表1 水培营养液的化合物组成及浓度*

营养液	化合物组成及其浓度 (mmol/l)						
	Ca (NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	KNO ₃	(NH ₂) ₂ CO	CaCl ₂	K ₂ SO ₄	KH ₂ PO ₄	MgSO ₄ · 7H ₂ O
硝态氮源	2.0	4.0	—	—	—	1.0	1.0
尿素氮源	—	—	4.0	2.0	2.0	1.0	1.0

* 两种氮源营养液的微量元素组成和浓度相同: Fe、Mn、Zn、Cu、B、Mo 分别为 2.8、0.5、0.05、0.02、0.5 和 0.01mg/l

1.1.2 恒温培养 以尿素为氮源, 分别用未接触过和接触过 7 叶期生菜根系二周的去离子水配制营养液。用棕色广口瓶 (容积 1 升) 盛液 0.85 升, 加盖。分别置于 15、20、25 和 30℃ 四个恒定温度的气候箱 (日产 FR-SP 型) 中培养二周或四周, 每天进行人工充气。试验时间为 1991 年 1 月 9 日至 2 月 6 日。

在培养期间, 每隔 48 小时测定营养液的 pH 值 (用美国产 PHH-1X 型笔式 pH 计)。每 7 天采样一次分析营养液中 NH₄⁺-N (纳氏试剂比色法^[2])、NO₃⁻-N (紫外分光光度法^[5]) 和 (NH₂)₂CO-N (对二甲胺苯甲醛比色法^[11]) 的含量。

1.2 蔬菜对硝酸盐和尿素作氮源的反应

1.2.1 水培试验 设硝态氮源和尿素氮源两个处理 (见表 1), 各 3 次重复。在塑料薄膜网室内, 用自制泡沫塑料板水培槽 (容积 150 升), 每槽盛液 100 升, 定植 52 株蔬菜。用滤水器循环内溶液 (上、下午各 2 小时)。每隔 48 小时测定营养液的 pH 值。

供试蔬菜为日本直叶生菜 (*Lactuca sativa* L.) 和白梗薹菜 (*Ipomoea aquatica*)。试验过程如下:

菜类	播 种		定 植	营养液添加*			收 获
	年	月/日		月/日	月/日	月/日	
生 菜	1990	4/15	5/16	5/17	5/31	—	6/9
薹 菜	1990	6/11	6/23	6/25	7/1	7/20	7/10和7/21

* 按表1所示浓度加入 (或补充) 营养液。

1.2.2 蔬菜根系脲酶活性的测定 分别取经硝酸盐和尿素作氮源的营养液培养二周的生菜和薹菜根系, 测定其脲酶活性 (植物生物化学分析法^[6])。

2. 结果与讨论

2.1 尿素在水培营养液中转化的特点

2.1.1 作物和温度的影响

从表2可见, 经15、20、25和30℃恒温培养二周后, 营养液中尿素态氮浓度与起始浓度相比, 未接触过菜根的降低量分别为1.3、1.7、1.6和3.7mg/l; 而接触过菜根的分别降低了

4.5、7.3、38.6和70.2mg/l 是其相应的未接触过菜根处理的三倍至二十几倍。这说明, 该条件下尿素的转化有可能与营养液接触过菜根有关。

表2 恒温条件下, 尿素作氮源的营养液内
(NH₂)₂CO-N 含量 (mg/l) 的变化状况

(NH ₂) ₂ CO-N	培养 时间	未接触过菜根				接触过菜根			
		15℃	20℃	25℃	30℃	15℃	20℃	25℃	30℃
含 量	起始	113.4	113.4	113.4	113.4	110.5	110.5	110.5	110.5
	一周	112.9	112.8	112.2	111.1	108.8	108.3	107.5	105.9
	二周	112.1	111.7	111.8	109.7	106.0	103.2	71.9	40.3
	三周	—	—	—	—	103.0	82.8	54.7	28.1
	四周	—	—	—	—	93.1	47.8	25.6	5.1
转化量*	一周	0.5	0.6	1.2	2.3	1.7	2.2	3.0	4.6
	二周	1.3	1.7	1.6	3.7	4.5	7.3	38.6	70.2
	三周	—	—	—	—	7.3	27.7	55.8	82.4
	四周	—	—	—	—	17.4	62.7	84.9	105.4

* 培养起始时 (NH₂)₂CO-N 含量与培养后各周 (NH₂)₂-N 含量之差值。

就接触过菜根的营养液培养至第四周的尿素转化量而言, 15、20和25℃处理的分别约为尿素起始浓度的1/5、1/2和4/5, 30℃处理的接近完全转化。可见, 温度愈高, 尿素转化的速度愈快。这与尿素在土壤中的转化情况相类似^[6,7]。

2.1.2 尿素的转化产物

表3表明, 在玻璃网室自然变温培养时, 自来水配制的营养液中, 尿素转化为 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的量与去离子水配制的营养液之间无很大差异。在两种营养液中, 培养首周内已出现 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N, NH₄⁺-N 的量略高; 在培养的第二周, NO₃⁻ 的量已与 NH₄⁺-N 的相近; 在培养的第三周, NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 的量各约占尿素转化总量的50%; 培养结束时, NO₃⁻-N 的量已比 NH₄⁺-N 量要高。这表明, 营养液中尿素的氨化和硝化作用几乎是同时进行的; 开始时氨化作用占优, 但随着培养时间推延, 硝化作用逐渐增强, 有可能赶上甚至超过氨化作用。

表3 自然变温条件下，尿素作氮源的营养液内尿素
转化为 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 的数量 (mg/l)

氮素 形态	培养 时间	自来水所配营养液*		去离子水所配营养液*	
		I	II	I	II
$(\text{NH}_2)_2\text{CO}-\text{N}$	起始	107.8	112.5	109.5	113.4
	四周	4.8	5.3	5.7	4.9
NH_4^+-N	一周	8.1	16.7	7.6	16.1
	二周	38.6	41.1	31.8	41.3
	三周	47.5	45.2	48.7	46.1
	四周	48.6	44.7	49.8	46.9
NO_3^--N	一周	5.4	5.8	4.9	7.9
	二周	26.8	34.5	29.0	31.5
	三周	51.4	51.2	49.9	45.8
	四周	51.9	53.7	52.3	54.4
(NH_4^+-N) + (NO_3^--N)	一周	13.5	22.5	12.5	24.0
	二周	65.4	75.6	60.8	72.8
	三周	98.9	96.4	98.6	91.9
	四周	100.5	98.4	102.1	101.3

* I 和 II 的温度变动范围分别为 $21\sim 41^\circ\text{C}$ 和 $22\sim 43^\circ\text{C}$ 。

2.1.3 营养液 pH 值的变化

在恒温培养过程中，未接触过菜根的营养液的 pH 值变化 (图1a) 较一致，四个温度处理的变动范围均在 $5.7\sim 6.9$ 之间。接触过菜根的营养液在 15°C 、 20°C 、 25°C 和 30°C 恒温培养过程中，其 pH 值 (图1b) 初始均稍上升，然后分别从第19、11、7和5天起开始下降，以后又分别从第28、19、13和11天起有所回升；四个处理的 pH 值均在 $5.0\sim 6.3$ 范围内变动。由上可见，营养液 pH 值在不同恒温条件下的变化状况与营养液有否接触过菜根有关；温度愈高，接触过菜根的营养液的 pH 值愈早出现明显变化的趋势。

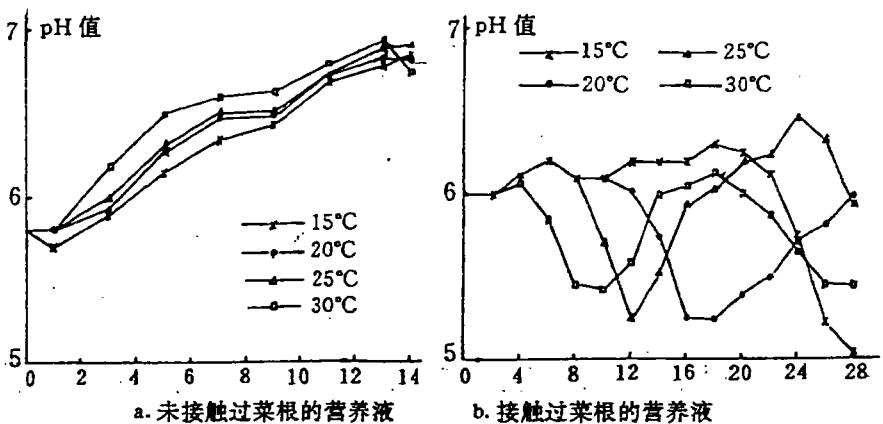


图1 恒温下尿素转化过程中营养液 pH 值的变化曲线

在自然变温下培养时,没有接触过菜根的营养液的 pH 值(图2)虽亦表现出先稍上升然后下降的趋势,但随后未见表现明显的回升,且变幅稍大, pH 值在4.2~6.9之间变动。这表明,在没有作物吸收的情况下,尿素转化的结果使营养液 pH 值的下降幅度明显大于上升幅度。这可能归因于:1) 尿素用量不高(只有4mmol/l),在匀质的溶液中不可能出现局部 pH 值上升的情况;2) 营养液空气充足,硝化作用旺盛,有使营养液 pH 值降低的趋势。因此,尿素作营养液氮源栽培作物时,应注意 pH 值降低可能产生的影响。

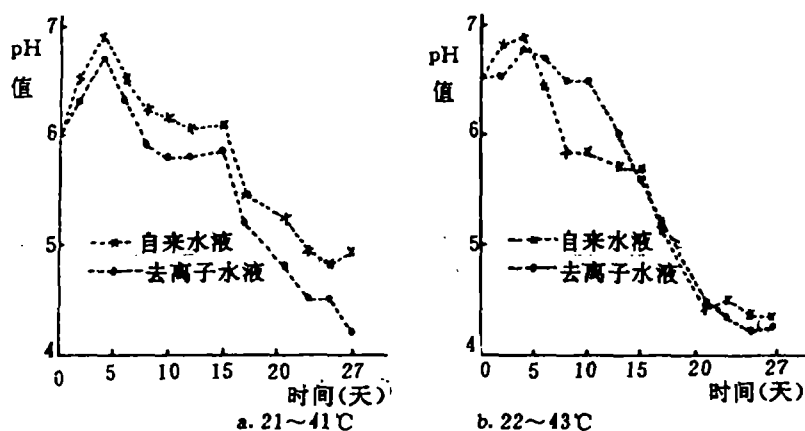


图2 自然变温下尿素转化过程中营养液 pH 值的变化曲线

2.2 生菜和薺菜对尿素作营养液氮源的反应

2.2.1 产量和长相

从表4可见,分别以硝酸盐和尿素为氮源水培蔬菜时,生菜产量以硝态氮源营养液栽培的显著较高;相反,薺菜产量则以尿素作氮源营养液栽培的明显高出。

在蔬菜生长期间对长相的观察发现:硝态氮源营养液处理生菜和薺菜生长均正常。用尿素作氮源的营养液栽培时,生菜的叶片在生长后期出现萎蔫,心叶边缘焦枯,根系变黑褐且腐烂;而薺菜茎叶生长正常,根系色白无损。

表4 薺菜产量与营养液氮源的关系

营养液氮源	产量* (克/槽)	
	生 菜	薺 菜
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	4311.4	2425.7
$(\text{NH}_2)_2\text{CO} - \text{N}$	3518.8	2855.3

* t 检验结果表明,同一直行的两个数值间差异显著, $P=0.05$ 。

可见,与硝态氮源营养液栽培的结果相比,薺菜对尿素作营养液氮源没有不良反应,而生菜则受损害。

2.2.2 营养液 pH 值的变化

图3表明,当以硝酸盐为氮源栽培生菜和薺菜时,营养液 pH 值均缓慢上升,变动范围亦均处于6.0~7.5之间。相反,营养液以尿素作氮源时,种植生菜的 pH 值从定植后12天起降至5.5以下(最低达3.8),持续10天后有所回升。种植薺菜的则从定植后10天起降

至 5.5 以下，以后继续下降至收获，最低达 2.6。

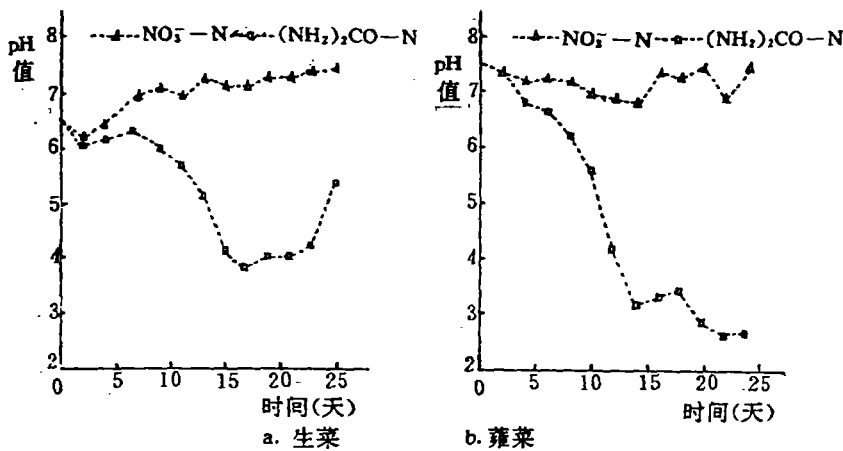


图3 蔬菜水培过程中不同氮源营养液 pH 值的变化曲线

据研究，大多数植物所能耐受的 pH 值低限为 4.0，若 $\text{pH} < 4.0$ ，则会使根细胞原生质膜受损，营养离子外渗^[6]。而一般认为，生菜水培的最适 pH 值范围为 5.5~6.5^[1]。因此，本试验尿素氮源处理生菜根系受损，可以说是与营养液酸性过强（最低达 pH3.8）有关的。

水培条件下薤菜的最适 pH 值尚少见有报道。在本试验中，尿素作氮源栽培的薤菜，即使在营养液 pH 值低达 2.6 时，仍能正常生长，这表明，薤菜是能够耐受强酸性的一种蔬菜作物。

种植蔬菜后，尿素作氮源的营养液的 pH 值出现急剧下降现象的可能原因是：1) 作物优先选择吸收尿素转化产物中的 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 造成生理酸性；2) 营养液中尿素硝化作用的进行会使 pH 值趋于下降；3) 营养液组分中 K_2SO_4 也具有较强的生理酸性。

2.2.3 生菜和薤菜根系脲酶活性的比较

从表 5 可以看出，硝酸盐作氮源的营养液栽培的生菜和薤菜根系的脲酶活性处于同一水平。相比之下，经尿素作氮源的营养液培养后，薤菜根系的脲酶活性稍有上升，但变化不明显；生菜的却显著增加，而且明显地比薤菜的要高。

两种蔬菜经不同氮源营养液培养后，根系脲酶活性的这种差异，也可能是薤菜对尿素作营养液氮源没有出现不良反应的原因之一。

表 5 蔬菜根系的脲酶活性与营养液氮源的关系

蔬菜种类	营养液氮源	脲酶活性*
		($\text{mmolNH}_3\text{N/g 根系/24h.}$)
生菜	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0.269 ^a
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} - \text{N}$	0.407 ^a
薤菜	$\text{NO}_3^- - \text{N}$	0.284 ^{bc}
	$(\text{NH}_2)_2\text{CO} - \text{N}$	0.326 ^b

* 直行中右上有具有相同字母的数值差异不显著，邓肯氏检验， $P=0.05$ 。

本试验的结果正如柯连科夫所指出的：作物体内脲酶活性愈高，对尿素作氮源的忍受能力愈弱^[9]。这种蔬菜体内脲酶活性高低与其忍受尿素能力强弱的关系，如果能进一步用更多的菜类进行试验而加以验证，从而有一个更明确的数量上的概念，是有可能作为判断蔬菜水培时是否适宜使用尿素氮源的参考的。

致谢 连兆煌教授、卢仁骏和黄志武副教授曾审阅本论文，并提出宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 山崎肯哉. 营养液栽培大全. 北京: 北京农业大学出版社, 1989: 45~47
- 2 中科院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 科学技术出版社, 1978: 81~84
- 3 休伊特 E J. 植物营养研究的砂培和水培法. 北京: 科学出版社, 1965: 99~105
- 4 李式军等. 现代无土栽培技术. 北京: 北京农业大学出版社, 1988: 56
- 5 李酉开. 紫外分光光度法测定硝酸盐. 土壤学进展, 1983, 11 (6): 44~56
- 6 何念祖等. 植物营养原理. 上海: 上海科学技术出版社, 1987: 48~51
- 7 周礼恺. 土壤的脲酶活性与尿素肥料在土壤中的转化. 土壤学进展, 1984, 12 (1): 1~10
- 8 波钦洛克 X H. 植物生物化学分析方法. 北京: 科学出版社, 1981: 224~227
- 9 柯连科夫 АА. 氮肥的农业化学. 北京: 农业出版社, 1983: 135~157
- 10 萨温特 NK. 水田中氮素的转化. 国外农学——土壤肥料, 1985 (3): 11~14, (4): 30~34
- 11 Douglas L A, et al. Division S-2—soil chemistry. Extraction and colorimetric determination of urea in soil. Soil Sci Soc Amer Proc, 1970 (34): 859~862
- 12 George C E. Urea hydrolysis in potting media. J Amer Soc Hort Sci. 1986, 111 (6): 862~866

UREA TRANSFORMATION AND RESPONSE OF VEGETABLES TO UREA—N IN NUTRIENT SOLUTIONS

Luo Jian

(Research Laboratory of Crop Nutrition and Fertilization)

Abstract When urea was the only source of nitrogen for hydroponic culture of vegetables, 1. under controlled temperature, no significant transformation of urea was observed in the deionized water—made nutrient solution when no crops were grown, but significant one was presented in the same solution after growing vegetables. The higher was the temperature, the faster was the urea transformation. The solution's pH was ranged between 5.0—6.3 during this period; 2. under room temperature, the urea was significantly transformed and its ammonification and nitrification were almostly presented at the same time in the nutrient solution made by tap water or deionized water, respectively. At the end to the 3rd week, about 90% of supplied urea—N was transformed into $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$, each one was accounted for about one half of the transformed urea while the pH of both nutrient solutions were ranged between 4.2—6.9.

when lettuce (*Lactuca sativa* L.) and water spanich (*Ipomoea aquatica*) were respectively grown in the nutrient solution with urea as its only N constituent, 1. no undesirable response of water spanich was obtained, but damaged symptom was appeared in the lettuce body; 2. the pH of solution could be dropped down to below 4.0; 3. the urease activity in the roots of water spanich was lower than that of lettuce.

Key words Hydroponic culture; Urea; Lettuce; water spanich; pH; Urease activity