不同铵硝比对菠菜生长、安全和营养品质的影响 *

汪建飞[1,2]　董彩霞[1]　沈其荣[1†]
(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京　210095)
(2 安徽科技学院, 安徽凤阳　233100)

摘　要　通过水培试验, 研究了等氮条件下 5 种不同铵硝比对菠菜生长和品质的影响。结果表明: (1) 从铵硝比 100∶0 到 0∶100, 菠菜地上部鲜重不断增加, 铵硝比为 0∶100 时, 菠菜的鲜重达最大值; 但铵硝比 25∶75 和 0∶100 两个处理菠菜的干物重没有显著差异 ($p < 0.05$)。(2) 随着铵硝比的降低, 菠菜茎叶中硝酸盐、亚硝酸盐的含量均表现为线性增加; 菠菜茎叶中可溶性草酸的含量和营养液中铵硝比之间呈现出二次曲线相关, 在铵硝比为 25∶75 时, 菠菜茎叶中草酸含量最低。适当增施铵态氮有利于降低菠菜硝酸盐、亚硝酸盐及草酸的含量。(3) 增铵可以提高菠菜 Vc 含量, 铵硝比为 50∶50 的处理菠菜 Vc 含量最高; 随着铵硝比的下降, 菠菜茎叶中可溶性糖的含量逐渐降低, 而粗蛋白的含量则以铵硝比 25∶75 处理最高。

关键词　菠菜; 生物量; 铵硝比; 营养品质; 安全品质
中图分类号　S501　　**文献标识码**　A

菠菜是一种常见的绿叶蔬菜, 对硝态氮源的吸收存在偏好, 是典型的"喜硝"作物[1]。也是硝酸盐含量较高的蔬菜之一。近来, 随着对蔬菜品质及食用安全性的关注, 已有不少研究尝试通过施肥[2]等手段提高菠菜的产量和品质。同时, 较多的研究表明, 在不同氮素形态营养条件下, 由于经历不同的氮同化途径[3]可能导致植物的产量和品质发生变化[3~5], 但是当前人们关于氮素形态配比对菠菜生长影响的看法却不尽相同。有人认为菠菜在 100% 的硝态氮生长最好, 地上部生物量最高, 稍加铵态氮后生长受抑[4]; 也有人认为适当增铵更有利于菠菜的生物量累积[5]。显然, 适宜于菠菜生长的最佳氮素形态配比还难以定论。氮素形态及配比对于蔬菜的品质有着重要的影响, 而有关不同氮素形态配比对菠菜安全和营养品质影响的系统报道却并不多见。

为此, 我们设计了等氮量条件下不同铵硝比的菠菜水培试验, 在研究了不同铵硝比对于菠菜生长形态和生物量影响的同时, 探讨了其对硝酸盐、亚硝酸盐和草酸含量等安全品质及维生素 C (Vc)、可溶性糖和粗蛋白含量等营养品质方面的影响, 以分析氮素形态配比与菠菜生长和品质之间的关系, 从而为确定营养液栽培条件下适宜于菠菜优质生长的铵硝比提供依据。

1　材料与方法

1.1　试验方法

试验在安徽科技学院种植科技园温室中进行。供试菠菜品种为"银川大圆"。先用 50 ℃的温水浸泡菠菜种子消毒 30 min, 用去离子水彻底清洗后, 再用去离子水浸泡 12 h。然后在 25 ℃培养箱中恒温催芽 1 周后播种于苗床。30 d 后再移栽至盛有 12 L 营养液的塑料周转箱中, 每个周转箱中栽植 30 棵苗。

实验设计 5 个铵硝比 (NH_4^+-N/NO_3^--N), 分别为 100∶0、75∶25、50∶50、25∶75 和 0∶100, 每个处理重复 3 次。营养液中大量营养元素的浓度分别为 12 mmol L^{-1}N, 1 mmol L^{-1}P, 6 mmol L^{-1}K, 5 mmol L^{-1} Ca 和 2 mmol L^{-1}Mg; 微量元素的含量分别为 H_3BO_3 (B 0.50 mg L^{-1}), Fe-EDTA (Fe 2.8 mg L^{-1}), $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ (Mn 0.50 mg L^{-1}), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (Zn 0.05 mg L^{-1}), $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (Cu 0.02 mg L^{-1}) 和 H_2MoO_4 (Mo 0.09 mg L^{-1})。此外, 营养液中均加入 7 μmol L^{-1}硝化抑制

* 安徽省自然科学基金项目 (050410105) 和国家自然科学基金项目 (30270790) 资助
† 通讯作者, E-mail: shenqirong@njau.edu.cn
作者简介: 汪建飞 (1969～), 男, 安徽庐江人, 博士研究生, 安徽科技学院教授, 主要从事农业资源利用和植物营养学研究
收稿日期: 2006-04-24; 收到修改稿日期: 2006-09-17

剂双氰胺(DCD)。

每天上午 8 时和下午 4 时用电动充气泵给营养液通气,每次 30 min。每天测量 1 次营养液的 pH 值,并用 0.5 mol L^{-1} HCl 或 NaOH 调节到 6.5 左右。营养液每 10 d 更换 1 次。

1.2 样品采集

移栽 30 d 后采集样品。首先分批采集需要进行鲜样测定的各项指标的样品,主要包括硝酸盐和亚硝酸盐、Vc 含量、可溶性草酸、可溶性糖等,根据每一项指标测定的具体要求采集和保存样品[6~8]。

从每箱中随机选取 5 株菠菜,用蒸馏水洗净,再用吸水纸吸干植株上的水分;用直尺测量株高和主根的长度后,从基部将茎叶与根系剪断,分别称量并记录鲜重;于 105 ℃的烘箱中杀青 30 min 后,再降温至 65 ℃烘 48 h 至恒重,分别称量并记录干重。将烘干植物样品研磨成均匀细粉,用于包括粗蛋白含量在内等有关指标的测定[7]。

1.3 测定方法

1.3.1 硝酸盐和亚硝酸盐含量测定 参照国家标准(GB/T 15401-1994)提取菠菜中硝酸盐和亚硝酸盐,用连续流动分析仪(德国 BRAN+LUEBBE 公司制造,AutoAnalyzer 3)同时测定提取液中硝酸盐和亚硝酸盐含量。

1.3.2 可溶性草酸含量测定 准确称取 2 g(精确到 0.001 g)左右的菠菜样品放入研钵中,加入 40%三氯乙酸 4 ml,研磨,过滤,去离子水洗涤。定容至 200 ml。取此溶液 5 ml,加入 2 mol L^{-1} $CaCl_2$ 2 ml,2 mol L^{-1} NaOH 0.5 ml。得到黄绿色絮状沉淀。按照汪树玉等[6]的方法进行比色测定。

1.3.3 Vc 含量测定 采用 2,6-二氯酚靛酚比色法测定[7]。

1.3.4 可溶性糖含量测定 采用蒽酮比色法测定[7]。

1.3.5 粗蛋白含量测定 用浓 H_2SO_4-H_2O_2消煮菠菜样品,开氏法定氮,含氮量乘以换算系数 6.25,即得粗蛋白含量[7]。

1.4 数据的统计分析

采用 DPS 数据处理系统对试验数据进行方差和回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同铵硝比对菠菜生长形态的影响

营养液不同铵硝比显著影响菠菜的生长。铵硝比超过 50∶50 的处理,菠菜株形矮小,皱缩,叶片小,叶缘焦黄;根系发黑,主根短而细,侧根少。铵硝比为 25∶75 和 0∶100 的两个处理,菠菜株形舒展,叶色浓绿;根系呈现白色,主根长而粗,侧根较多。

随营养液中铵硝比的降低,菠菜的株高逐渐增加(图 1)。全硝营养比全铵营养下菠菜株高增长了 2.3 倍。根长受到的影响与株高基本一致,随着铵硝比的下降,菠菜的根长逐渐增加;全硝营养与全铵营养相比,菠菜根长增长了两倍。

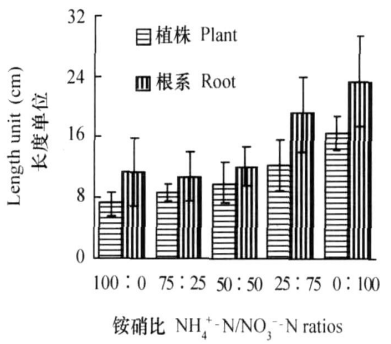

图 1 铵硝比对菠菜株高和根长的影响

Fig.1 Effects of NH_4^+-N/NO_3^--N ratios on plant height and root length of spinach

2.2 不同铵硝比对菠菜生物量的影响

不同铵硝比氮素营养对菠菜的生长影响显著(表 1),不同处理间菠菜的鲜重达到显著差异水平($p < 0.05$)。由表 1 可以看出,随着营养液中硝态氮比例的增加,菠菜地上部分的鲜重也逐渐增加,全硝营养下菠菜产量达到最大值,平均单株茎叶鲜重可达 6.2 g;分别为 NH_4^+-N/NO_3^--N = 100∶0、75∶25、50∶50、25∶75 处理的 5.9 倍、3.4 倍、2.6 倍和 1.2 倍。

与鲜重的变化规律相一致,随着营养液中 NO_3^--N 比例的增加,菠菜的干物重也呈现出增加的趋势,但铵硝比为 25∶75 和 0∶100 两个处理之间,菠菜的干物重没有显著差异。这表明营养液中 NH_4^+-N 的比例低于 25%时对菠菜的干物质累积没有显著影响。

根据表 1 的数据,还可以计算出从全铵到全硝 5 个不同的铵硝比处理,菠菜干物重的根冠比依次为 0.25、0.30、0.23、0.26 和 0.26。方差分析结果表明,各处理之间差异不显著($p < 0.05$)。说明铵硝比对于菠菜根系和地上部干物质累积的影响是一致的。

表 1　不同铵硝比的氮素营养对菠菜生物量的影响[1)]

Table 1　Effect of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on spinach biomass (g plant^{-1})

铵硝比 NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios	鲜重 Fresh weight			干重 Dry weight		
	茎叶 Shoot	根系 Root	全株 Total	茎叶 Shoot	根系 Root	全株 Total
100∶0	1.05 ±0.12e[2)]	0.25 ±0.06c	1.30 ±0.15e	0.22 ±0.03c	0.05 ±0.03b	0.27 ±0.04c
75∶25	1.83 ±0.12d	0.61 ±0.11bc	2.44 ±0.22d	0.35 ±0.09c	0.11 ±0.05b	0.46 ±0.13c
50∶50	2.42 ±0.23c	0.77 ±0.26b	3.19 ±0.12c	0.59 ±0.08b	0.13 ±0.04b	0.72 ±0.12b
25∶75	5.18 ±0.17b	1.52 ±0.34a	6.70 ±0.23b	0.99 ±0.12a	0.26 ±0.03a	1.25 ±0.12a
0∶100	6.20 ±0.26a	1.60 ±0.25a	7.80 ±0.51a	1.02 ±0.04a	0.27 ±0.10a	1.29 ±0.14a

注:1) 表中数据为平均数 ±标准差,n = 3;2) 同一栏中数据后小写字母不相同者表示处理间差异在 5 %水平显著;以下各表同 Note:1) Data in the table are Mean ±S.D,n = 3;2) Means in a column followed by the different small letters are significant in difference at 5 % level,which is the same in tables to follow

2.3　不同铵硝比对菠菜安全品质的影响

不同的铵硝比显著地影响了菠菜茎叶中硝酸盐的含量(图 2)。从铵硝比 0∶100 到 25∶75,菠菜茎叶中硝酸盐的含量平均降低了 37.5 %。回归分析表明,菠菜茎叶中硝酸盐的含量与营养液中硝态氮占全氮的比例呈显著正相关。

从图 2 还可以看出,随着铵硝比的降低,菠菜茎叶中亚硝酸盐的含量逐渐升高,这与铵硝比对硝酸盐含量的影响规律基本一致。菠菜茎叶中亚硝酸盐的含量与营养液中硝态氮占全氮的比例也呈显著正相关。

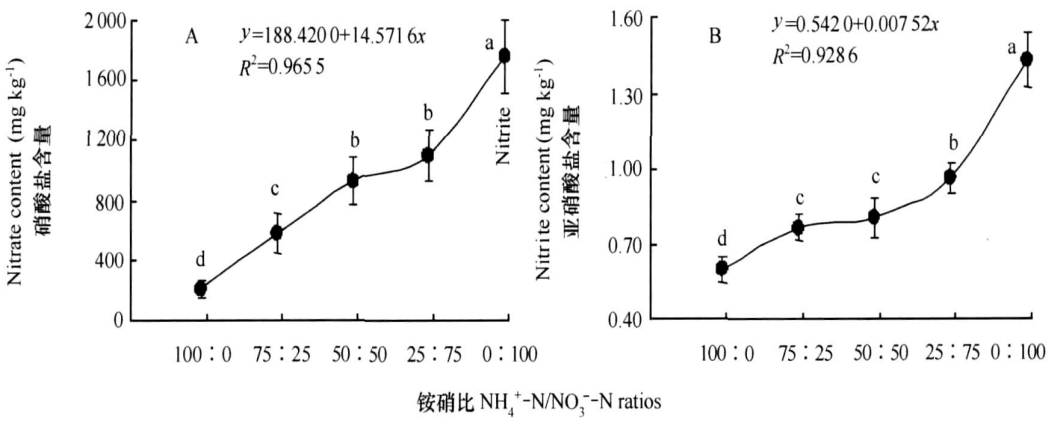

图 2　不同铵硝比对菠菜茎叶中硝酸盐(A)和亚硝酸盐含量(B)的影响(折线图上的误差线表示标准误差,$n = 3$;数据点上相同字母表示处理间差异不显著($p < 0.05$))

Fig. 2　Effects of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on the content of nitrate (A) and nitrite (B) in spinach shoot and leaves. Data represent means of three replications,and values of nitrate content marked by the same letter are not significantly different ($p < 0.05$))

由图 3 可以看出,随着铵硝比的降低,菠菜茎叶中可溶性草酸的含量是逐渐降低的,在铵硝比为 25∶75 时,菠菜茎叶中草酸含量最低,铵硝比为 0∶100时,草酸含量又呈现升高的趋势。当铵硝比为25∶75 时,菠菜茎叶中可溶性草酸含量平均值为 617.5 g 100 g^{-1}鲜重,与铵硝比为 100∶0 处理的菠菜相比,草酸含量降低了 16.3 %;与硝态氮作为唯一氮源的菠菜相比,草酸含量降低了 7.8 %。说明全铵或是全硝的氮素营养,均会导致菠菜中草酸含量升高。回归分析结果表明,营养液中硝态氮占全氮的百分数与菠菜茎叶中可溶态草酸含量之间呈二次曲线相关。

2.4　不同铵硝比对菠菜营养品质的影响

不同形态氮素配比对菠菜茎叶中 Vc 含量有明显的影响(表 2)。在 5 个不同的铵硝比处理中,菠菜中 Vc 含量呈现"两边低,中间高"的态势,铵硝比

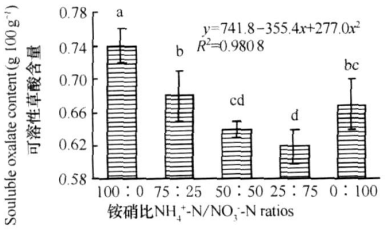

图 3 不同铵硝比对菠菜茎叶中可溶性草酸含量的影响 ($n = 3; p < 0.05$)

Fig. 3 Effects of NH_4^+-N/NO_3^--N ratios on the content of soluble oxalate in spinach shoot and leaves ($n = 3; p < 0.05$)

为 50∶50 的处理菠菜 Vc 含量最高,而全硝处理的菠菜 Vc 含量要显著低于其他 4 个处理,只有最高值的 62 %。统计回归分析表明,营养液中硝态氮占全氮的百分数与菠菜茎叶中 Vc 含量之间也呈二次曲线相关。方程如下:

$$y = 0.514\,0 + 0.428\,0x - 0.560\,0x^2 \quad R^2 = 0.943\,8$$

表 2 铵硝比对菠菜茎叶中 Vc、可溶性糖和粗蛋白含量的影响

Table 2 Effects of NH_4^+-N/NO_3^--N ratios on contents of Vc, soluble sugar and crude protein in spinach shoots

铵硝比 NH_4^+-N/NO_3^--N ratios	Vc 含量 Vc content (mg g^{-1}FW)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (g 100 g^{-1}FW)	粗蛋白含量 Crude protein content (g 100 g^{-1}DW)
100∶0	0.52 ±0.03b	1.47 ±0.06a	31.81 ±0.31b
75∶25	0.56 ±0.03ab	1.15 ±0.09b	32.00 ±0.29b
50∶50	0.63 ±0.05a	1.07 ±0.06b	32.06 ±0.23b
25∶75	0.49 ±0.07b	0.74 ±0.06c	34.69 ±1.29a
0∶100	0.39 ±0.06c	0.60 ±0.06d	32.88 ±0.82b

随着铵硝比的下降,菠菜茎叶中可溶性糖的含量显著降低,全铵处理菠菜茎叶中可溶性糖的含量最高,达 1.47 mg g^{-1}(以鲜重计),全硝处理菠菜体内可溶性糖含量最低,平均为 0.62 mg g^{-1}(以鲜重计),仅为全铵处理的 42 %(表 2)。回归分析表明,菠菜体内可溶性糖含量与营养液中铵硝比呈线性相关($r = -0.985\,7$)。

从表 2 还可以看出,不同铵硝比处理对菠菜茎叶中粗蛋白含量有一定影响,铵硝比 25∶75 的处理菠菜茎叶中粗蛋白含量要显著地高于其他处理,而其他 4 个处理之间则差异不显著($p < 0.05$)。

3 讨 论

高等植物吸收的氮素主要是无机态氮,即铵态氮和硝态氮。植物对这两种形态氮素的吸收、运输、同化等许多代谢过程都存在着较大差异,从而影响到植物的生长发育、生物量累积和次生代谢作用。关于氮素形态及配比对蔬菜作物生长的影响,已有许多报道[4,5]。当前普遍认为,在以硝态氮为主的前提下,增加适量的铵态氮,可以提高蔬菜的产量[5,9]。本试验结果表明,在营养液中铵硝比高于 25∶75 时,菠菜的生长严重受阻,在铵硝比为 0∶100 时,菠菜的鲜重和干物质累积均达到最高值;但是铵硝比为 25∶75 和 0∶100 两个处理之间,菠菜的干物重没有显著差异。说明在以硝态氮为主的前提下,增施适量的铵态氮,不会显著降低菠菜的干物质积累。

硝酸盐、亚硝酸盐和草酸含量是衡量蔬菜安全品质的 3 个重要指标。按照食品卫生标准,新鲜蔬菜中亚硝酸盐(以 $NaNO_2$ 计)含量应小于等于 4 mg kg^{-1}[10]。目前已有不少研究表明,氮素形态对硝酸盐积累具有显著影响。本试验结果表明,在全硝营养条件下,菠菜茎叶中的亚硝酸盐含量最高,以 $NaNO_2$ 计,可达 2.16 mg kg^{-1}鲜重。尽管低于国家规定的限量标准,考虑到亚硝酸盐对人体的危害,在蔬菜栽培时,还是要做到科学施肥,力求降低其中亚硝酸盐的含量。Stantamaria 等[11]研究报道,营养液中铵硝比为 50∶50 的莴苣硝酸盐含量显著低于铵硝比为 0∶100 的处理。朱祝军等[12]试验结果表明,随着营养液中铵态氮比例的增加,不结球白菜体内硝酸盐累积随之减少。本试验结果也表明,随着铵硝比的下降,菠菜茎叶中硝酸盐含量呈线性显著降低;与全硝营养处理相比,铵硝比为 25∶75 的处理菠菜茎叶中硝酸盐的含量平均降低了 37.5 %。这与 Chen 等[10]的研究结果一致,他们发现,铵硝比从 0∶100 提高到 25∶75 再到 50∶50,3 种小白菜中硝酸盐的含量平均分别下降了 37 %和 52 %。可见,以硝态氮为氮源时,蔬菜的硝酸盐含量高,而施用硝铵态氮或铵态氮可以降低蔬菜的硝酸盐含量。用铵态氮取代营养液中部分硝态氮,即增加铵营养可以显著降低菠菜茎叶中硝酸盐的含量,一个可能的原因是铵能够高速进入细胞,导致细胞膜的强烈去极化,从而阻止了阴离子与 H^+ 的协同运输,这或许是铵离子抑制硝酸盐吸收的最主要原因[13]。另一个可能的原因是硝酸盐的吸收系统与 GS 之间存在着对于能源物质 ATP 的竞争,这种情况通常只发生在 GS 活性较高的状态[14]。本研究还发现,菠菜茎叶中的亚硝酸盐含量随着营养液中铵硝比的下降而呈线性升高,

与硝酸盐含量的变化规律一致。王景安等[15]的试验也证实,以纯硝态氮作为氮源时蔬菜中亚硝盐的含量要高于铵硝配施或纯铵营养。说明增加铵营养可以有效地降低蔬菜中亚硝酸盐的含量。因此,根据茎叶中亚硝酸盐含量与营养液中铵硝比的关系,我们在栽培菠菜时,可以通过铵硝配施的方法,以保证菠菜中亚硝酸盐含量保持在较低水平。

氮素形态对蔬菜累积草酸的影响已有一些报道。Libert 等[16]报道,许多植物以硝态氮作为氮源时,与硝铵配施相比,体内含有更多的草酸。Usha 等[17]发现,马齿苋茎叶中草酸含量在铵硝比为 0∶100时最高,随着铵态氮比例的增加,马齿苋茎叶中草酸含量逐渐降低;马齿苋茎叶中草酸含量与硝态氮的比例呈现显著的正相关。本研究结果表明,菠菜茎叶中可溶态草酸含量与营养液中铵硝比之间呈现出二次曲线相关,全铵和全硝营养菠菜中草酸含量均高于铵硝配施处理。全硝处理的植物体内草酸含量高,可能的原因是以硝态氮作为唯一氮源时,植物体内乙醇酸氧化酶活性较高,乙醇酸氧化酶是光呼吸代谢的关键酶,它能通过氧化和歧化作用把乙醇酸转化成草酸[16]。

Vc 含量是蔬菜的一项重要的营养品质指标。田霄鸿[4]的试验结果表明,莴苣叶片中的 Vc 含量随着铵硝比降低而升高,单独供应硝态氮时 Vc 含量最高,单独供应尿素态氮时最低;而菠菜中 Vc 含量基本不受铵硝比的影响。张春兰等[5]的研究发现菠菜中 Vc 含量随着铵硝比的降低而减少。本试验结果则表明,铵硝配合时菠菜体内 Vc 含量最高,全铵和全硝处理都会降低 Vc 含量。

铵硝比影响了菠菜体内可溶性糖含量是氮素形态影响植物碳代谢的一个具体方面。张春兰等[3]发现,硝态氮用量较大时菠菜中水溶性糖含量较低,铵态氮用量较高时水溶性糖含量较高,不同氮源处理菠菜水溶性糖含量随铵硝比的降低而降低。其原因可能是硝态氮的还原需要消耗额外的能量所致。铵态氮被吸收后,不消耗能量可直接进行氮素同化,而硝态氮吸收后需先进行还原,在还原过程中要消耗能量。本试验结果也表明,随着铵硝比的降低,菠菜体内可溶性糖含量呈线性下降。

冯柱安等[18]和李建伟等[19]的研究表明,不同氮素形态配比中以铵硝比为 25∶75 的处理烟草叶片中蛋白质含量最高。徐加林等[20]发现,铵硝比为 25∶75处理下的生菜可溶性蛋白质含量最高。本试验结果与前人的研究结论基本一致,随着铵硝比的降低,菠菜粗蛋白的含量呈现出升高趋势,至铵硝比 25∶75 的处理含量最高,全硝营养时含量则有所降低。

综合考虑氮素形态对于菠菜生长、安全和营养品质等各项指标的影响效应,不难看出,在水培条件下,以硝态氮为主增施适当铵态氮是菠菜获得高产优质的一条重要措施。在适宜菠菜生长的氮素用量条件下,铵态氮的比例不宜超过全氮量的 25 %。

参 考 文 献

[1] Lasa B, Frechilla S, Aparicio-Tejo P M, *et al*. Alternative pathway respiration is associated with ammonium ion sensitivity in spinach and pea plants. Plant Growth Regulation, 2002, 37: 49～55

[2] 张娟,沈其荣,冉炜,等. 施用预处理秸秆对土壤供氮特征及菠菜产量和品质的影响. 土壤, 2004, 36(1): 37～42. Zhang J, Shen Q R, Ran W, *et al*. Effects of the application of pretreated rice straw with nitrogen fertilizer on soil nitrogen supply and spinach growth and quality (In Chinese). Soils, 2004, 36(1): 37～42

[3] 段英华,张亚丽,沈其荣. 增硝营养对不同基因型水稻苗期吸铵和生长的影响. 土壤学报, 2005, 42(2): 260～265. Duan Y H, Zhang Y L, Shen Q R. Effect of nitrate on the ammonium uptake and growth of different genotypes of rice (*Oryza sativa*) at the seedling stage (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(2): 260～265

[4] 田霄鸿,王朝辉,李生秀. 不同氮素形态及配比对蔬菜生长和品质的影响. 西北农业大学学报, 1999, 27(2): 6～10. Tian X H, Wang Z H, Li S X. Effect of different N forms and NH_4^+-N to NO_3^--N ratio on growth and quality of vegetables (In Chinese). Acta Univ. Agric. Boreali Occidentalis, 1999, 27(2): 6～10

[5] 张春兰,高祖明,张耀栋,等. 氮素形态和 NH_4^+-N 与 NO_3^--N 配比对菠菜生长和品质的影响. 南京农业大学学报, 1990, 13(3): 70～74. Zhang C L, Gao Z M, Zhang Y D, *et al*. The effects of different nitrogen forms and their concentration combinations on the growth and quality of spinach (In Chinese). Journal of Nanjing Agricultural University, 1990, 13(3): 70～74

[6] Zhang Y P, Lin X Y, Zhang Y S, *et al*. Effects of nitrogen levels and nitrate/ ammonium ratios on oxalate concentrations of different forms in edible parts of spinach. Journal of Plant Nutrition, 2005, 28: 2 011～2 025

[7] 李合生主编. 植物生理生化实验原理和技术. 北京:高等教育出版社, 2000. Li H S. ed. Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2000

[8] 汪树玉,杜鸣. 分光光度法测定菠菜中草酸盐总量. 营养学报, 1989, 11(1): 71～76. Wang S Y, Du M. Determination of total oxalate in spinach by spectrophotometry (In Chinese). Acta Nutrimenta Sinica, 1989, 11(1): 71～76

[9] Chen W, Lou J K, Shen Q R. Effect of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratios on growth and some physiological parameters of Chinese cabbage cultivars. Pedosphere, 2005, 15(3): 310～318

[10] 国家技术监督局. 中华人民共和国国家标准. GB 15198 - 94 食

品中亚硝酸盐限量卫生标准. 1994. Technology Supervision Bureau. PRC National Standards (GB 15198 - 94). Tolerance Limit of Nitrite in Foods (In Chinese). 1994

[11] Santamaria P, Elia A, Gonnella M. Changes in nitrate accumulation and growth of Endive plants during light period as affected by nitrogen level and form. J. Plant Nutr., 1997, 20(10): 1 255～1 266

[12] 朱祝军, 蒋有条. 不同形态氮素对不结球白菜生长和硝酸盐积累的影响. 植物生理学通讯, 1994, 30(3): 198～201. Zhu Z J, Jian Y T. Effects of nitrogen form on the growth and nitrate accumulation of the non-heading Chinese cabbage (In Chinese). Plant Physiology Communications, 1994, 30(3): 198～201

[13] Ullrich W R. Transport of nitrate and ammonium through plant membranes. *In*: Mengel K, Pilbeam D J. eds. Nitrogen Metabolism of Plants. Oxford: Clarendon Press, 1992. 121～137

[14] Andriesse A J, Weisbeek P J, van Arkel G A. Biochemistry and regulatory aspects and genetics of nitrate assimilation in cyanobacteria. *In*: Wray J L, Kinghorn J R. eds. Molecular and Genetic Aspects of Nitrate Assimilation. Oxford: Oxford Science Publications, 1989. 40～50

[15] 王景安, 梁晓华, 程炳嵩. 氮素形态对叶菜类 NO_3^-、NO_2^- 和 Vc 含量的影响. 河北农业技术师范学院学报, 1990, 4(4): 5～9. Wang J A, Liang X H, Cheng B S. Effects of nitrogen form on the contents of NO_3^-, NO_2^- and Vc in leafy vegetable (In Chinese). Journal of Hebai Agrotechnical Teachers College, 1990, 4(4): 5～9

[16] Libert B, Franceschi V R. Oxalate in crop plants. J. Agr. Food Chem., 1987, 35: 926～938

[17] Usha R P, Bernard B B, Richard J M. Effect of nitrate: ammonium nitrogen ratio on oxalate levels of purslane. *In*: Janick J, Whipkey A. eds. Trends in New Crops and New Uses. Alexandria: ASHS Press, 2002. 453～455

[18] 冯柱安, 彭桂芬. 不同氮素形态对烤烟品质影响的研究. 中国烟草科学, 1998(4): 11～15. Feng Z A, Peng G F. Effect of different nitrogen forms on the qualities of flue-cured tobacco (In Chinese). Chinese Tobacco Science, 1998(4): 11～15

[19] 李建伟, 郑少清, 石俊雄, 等. 不同氮素形态配比对烤烟品质的影响. 西南农业大学学报(自然科学版), 2003, 25(5): 436～439. Li J W, Zhen S Q, Shi J X, *et al*. Effects of different formulae of nitrogen forms on the quality of flue-cured tobacco (In Chinese). Journal of Southwest Agricultural University (Natural Science Edition), 2003, 25(5): 436～439

[20] 徐加林, 别之龙, 张盛林. 不同氮素形态配比对生菜生长、品质和保护酶活性的影响. 华中农业大学学报, 2005, 24(3): 290～294. Xu J L, Bie Z L, Zhang S L. Effects of nitrogen form ratios on the lettuce growth and activity of protective enzymes (In Chinese). Journal of Huazhong Agricultural University, 2005, 24(3): 290～294

EFFECTS OF NH_4^+-N/ NO_3^--N RATIO ON GROWTH, FOOD SAFETY AND NUTRITIONAL QUALITY OF SPINACH (SPINACIA OLERACEA L.)

Wang Jianfei[1,2] Dong Caixia[1] Shen Qirong[1†]

(1 *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing* 210095, *China*)

(2 *Anhui Science and Technology University, Fengyang, Anhui* 233100, *China*)

Abstract A solution culture experiment was conducted to study effects of NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio on growth, food-safety and nutrition of spinach. The following results were obtained. (1) Fresh weight of spinach shoots gradually increased with the percentage of NO_3^--N in the total nitrogen, and spinach supplied with NO_3^--N as its sole nitrogen source was the highest in biomass, but there was no significant difference ($p < 0.05$) in dry matter weight between treatments, 25∶75 and 0∶100 in NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio. (2) Contents of nitrate and nitrite in spinach shoots increased linearly with the decrease in NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio. A significant quadric relationship was observed between the percentage of NO_3^--N in the total nitrogen and soluble oxalate content of the spinach shoots, and in Treatment 25∶75 in NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio, the soluble oxalate content was the lowest. Obviously, proper partial replacement of NO_3^--N by NH_4^+-N is beneficial to decreasing contents of nitrate, nitrite and oxalate in spinach. (3) Proper partial replacement of NO_3^--N by NH_4^+-N increased Vc content in spinach shoots, and it was the highest in Treatment 50∶50 in NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio. Content of soluble sugar in spinach shoots gradually decreased with the NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio, and content of crude protein was the highest in Treatment 25∶75 in NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio.

Key words Spinach; Biomass; NH_4^+-N/ NO_3^--N ratio; Nutritional quality; Safety quality