

## 不同铵硝比对蔬菜和烟草产量及品质影响的整合分析

陈嘉涛<sup>1</sup>, 李精华<sup>1, 2</sup>, 樊帆<sup>3</sup>, 阮云泽<sup>1, 2</sup>, 李婷玉<sup>1, 2\*</sup>

(1. 海南大学热带作物学院, 海南 海口 570208; 2. 海南大学三亚南繁研究院, 海南 三亚 572000, 3. 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081)

**摘要:** 氮素是作物所必需的大量营养元素, 其形态的不同显著影响作物的吸收与生理代谢过程, 从而对作物产量和品质产生影响。蔬菜和烟草是典型的喜硝作物, 但诸多研究发现适当补充一定的铵态氮有助于作物产量和品质的提升, 而目前缺乏大样本的广泛验证, 导致此尚未形成定论。共搜集了 2000—2022 年间发表的 77 个不同铵硝比对蔬菜和烟草作物生长影响的实证研究, 利用整合分析方法, 评估了不同铵硝比对不同作物产量、品质及光合特性等指标的综合影响, 以期为该类型作物群体合理的营养调控提供科学支撑。结果表明, 蔬菜和烟草更偏好于硝态氮, 但与纯硝态氮供应相比, 适当增加一定比例的铵态氮可以显著提高作物生物量, 并以铵态氮占比小于 50% 为佳, 在此铵硝配比下叶菜和茄果作物生物量可分别增加 11.3% 和 8.4%, 当铵态氮比例增大到 50% 以上或纯铵供应时, 蔬菜作物的生物量会下降或无显著提质作用; 叶菜类中的可溶性蛋白含量在以铵主导 (>50:50) 时显著增加 42.2%, 而茄果类则在硝主导 (<50:50) 时增加 22.7%; 叶菜中维生素 C 含量仅当供铵比例 ≤ 50% 时增加效果显著。烟草在供应均衡的铵硝 (50:50) 时, 其产量与生理指标均能达到最佳水平, 相比纯硝处理, 生物量可增加 22.1%。此外, 发现铵硝均衡配比 (50:50) 时, 蔬菜和烟草中的叶绿素含量均达到最高值。以上发现有效证实了在蔬菜和烟草生产中, 适宜的铵硝比对作物增产和提质有极大的促进作用, 但要保证铵态氮的添加比例不宜超过总氮的 50%, 以免减产和品质下降。本研究为提高蔬菜和烟草作物的氮素营养管理提供了科学支撑。

**关键词:** 氮素形态; 铵硝配比; 产量; 品质; Meta 分析

氮素是构成植物蛋白质、核酸、磷脂、叶绿素的组成元素, 对植物生长起决定性的作用。植物对氮素的吸收利用主要取决于氮素存在的形态, 不同氮形态对植物养分吸收和生理代谢的影响不同<sup>[1]</sup>。自然界中, 植物所能吸收利用的氮素多以铵态氮 ( $\text{NH}_4^+$ ) 与硝态氮 ( $\text{NO}_3^-$ ) 为主, 在通气良好的土壤中, 硝态氮浓度通常高于铵态氮, 而在淹水或酸性和还原性土壤中多以铵态氮为主<sup>[2]</sup>。一般来说, 作物起源的土壤环境对作物铵硝的偏好有较大影响, 适应酸性土壤或具有低氧化还原电位土壤的植物喜铵; 相反, 适应石灰性土壤和碱性土壤上生长

的植物优先利用硝酸盐。目前国内外关于不同作物对氮素形态的吸收特性已经开展了大量的研究, 对不同作物对铵硝营养的偏好也已有了一定的判断, 如水稻、甘蔗等作物喜铵<sup>[3-4]</sup>, 小麦、蔬菜以及烟草类作物喜硝<sup>[5-7]</sup>。

近些年诸多的研究发现, 适当的铵硝配合可以促进作物的生长和品质的提升。例如水稻在纯铵态氮供应的基础上增加一定比例的硝态氮能显著提高产量与品质<sup>[4]</sup>; 小麦虽偏爱硝态氮, 但适度增加铵态氮的供应, 其生理活性与产量均得到一定提高<sup>[5]</sup>; 番茄对铵态氮十分敏感, 如吸收过多铵态氮, 其生长将会受抑制<sup>[5-9]</sup>。这与两种氮素形态生理功能上的互补有关, 铵作为重要的氮源更容易被植物根系吸收并同化, 但是过量的铵也会对细胞造成毒害, 研究发现硝酸盐既是良好氮源, 同时对合成细胞分裂素所需要的酶有信号/诱导作用, 在调节作物地上、地下发育及激素响应方面有着重要的生理功能。但国内外的研究关于不同作物最佳的铵硝配比没有较为一致的定量结论, 限制了

收稿日期: 2022-06-14; 录用日期: 2022-08-06

基金项目: 海南省张福锁院士创新平台资金资助; 海南省院士创新平台科研专项 (SQ2020PTZ0004); 海南省重大科技计划“农业农村面源污染对近岸海域生态系统的影响及污染防治技术与示范” (ZDKJ2021008); 海南省市厅级项目: 农减项目-2021-1(2)。  
作者简介: 陈嘉涛 (2001-), 本科生, 专业为农业资源与环境。  
E-mail: 702177134@qq.com。

通讯作者: 李婷玉, E-mail: lty@hainanu.edu.cn。

利用养分形态配合来提高作物产量和品质措施的实施<sup>[10-14]</sup>。

本文收集了2000—2022年叶菜类、茄果类以及烟草作物在不同铵硝配比下的试验研究数据，利用整合分析的方法(Meta-analysis)，定量分析了不同铵硝比对作物产量、生理特性与品质等指标的综合影响，其中生理指标主要包括叶绿素含量、硝酸盐还原酶(NR)以及谷氨酰胺合成酶(GS)的活性，品质指标主要包括可溶性蛋白和维生素C含量等，旨在探索目标作物所适宜的最佳铵硝比例，促进植物氮素营养调控的科学发展，并推动作物提质增效。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源及选择标准

通过中国知网、Web of Science等检索工具，以“铵硝比(ammonium nitrate ratio)”“氮素形态(nitrogen forms)”“蔬菜(vegetable)”“烟草(tobacco)”“产量(yield)”“品质(quality)”等为关键词开展文献搜索。所收录的文献必须满足以下标准：

——研究对象为蔬菜(包括叶菜或茄果)以及烟草作物中的一种。

——文献中提供试验的基本信息，如试验条件、试验周期、试验处理和重复等。

——测定指标中至少包含生物量(产量)、品质(维生素C、可溶性蛋白等)、生理特性(叶绿素含量、NR/GS活性中的一项)。

——试验有明确的铵硝配比和施氮量，并设置对照处理，不同铵硝配比处理的其他试验条件要保持一致。

### 1.2 数据库的建立

从文献中获得的指标包括：试验地点、作物类型、栽培方式、铵硝配比、不同铵硝配比下作物的产量(生物量)和品质及生理特性(叶绿素含量、氮素积累量、可溶性蛋白、维生素C、NR活性、GS活性)等。通过Getdata对文献中的图表信息进行数字化。该研究累计录入77篇文献，其中生物量数据共283组，作物品质数据共172组，生理特性数据共376组。试验年份为2000—2022年，包括室内培养试验和大田试验，生长周期多在一年以内。本研究样本分布见表1。

表1 该研究中不同类型作物和研究指标的样本分布

作物类型	生物量	叶绿素含量	氮素积累量	可溶性蛋白	维生素C	NR/GS活性
叶菜	95	52	NA	34	64	34
茄果	51	28	NA	13	NA	42
烟草	46	15	26	NA	NA	NA

注：NA代表数据无法获得。

### 1.3 解释变量与响应变量

文献中的生物量、叶绿素含量、氮素积累量、可溶性蛋白含量、NR活性、GS活性、维生素C含量为响应变量；解释变量为不同的铵硝配比以及作物类型。作物类型包括叶菜类和茄果类，其中叶菜类包括菠菜、小白菜、生菜、韭菜等，茄果类包括番茄、甜椒、辣椒、茄子以及烟草。参考数据库中数据分布情况对解释变量进行分组，见表2。

表2 铵硝比对作物产量和品质效应数据库解释变量分组

解释变量	分组
铵硝配比	100:0; >50:50; 50:50; <50:50
作物类型	叶菜; 茄果; 烟草

### 1.4 Meta分析

对已收集的同一指标数据统一单位，以纯硝态氮处理作为对照，计算每组的效应值。采用反应比(response ratio, RR)的对数(lnRR)作为效应值(Ei)<sup>[15]</sup>来描述不同铵硝比对目标作物不同指标的响应。

$$E_i = \ln RR = \ln (X_e / X_c) \quad (1)$$

式中： $X_e$ 和 $X_c$ 是试验组(已知铵硝配比的处理)和对照组(纯硝处理)的产量或各项品质及生理指标的平均值。效应值无单位，对于某一种变量的累积效应值的计算采用生态整合分析多重采样的方法<sup>[16]</sup>，效应值95%的置信区间采用bootstrapping的方法计算，抽样频率为5000次<sup>[16]</sup>。基于bootstrapping方法计算出的置信区间较参数法的范围更加宽，因而，此方法较传统参数分析方法更加保守和安全<sup>[16]</sup>。为了便于解释，将lnRR的分析结果转化成百分比变化率 $[(RR-1) \times 100\% - 100]$ <sup>[17]</sup>。如果95%置信区间与0重叠，则认为试验组与对照组的差异不显著；如果95%置信区间没有与0重叠，则认为两组间差异显著，同时同一变量不同

分类的累积  $E_i$ , 其 95% 置信区间相互不重叠则认为彼此间差异显著<sup>[18]</sup>。

### 1.5 数据处理

本研究使用 R (R Core Team, 2015) 进行数据分析, 通过 SPSS 25.0 进行 Bootstrapping 统计分析。利用 R (R 包 plotrix; Jim Lemon 2021) 进行图表制作。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同铵硝比对叶菜类作物的综合影响

基于 279 个样本的整合分析表明, 与纯硝态氮处理相比, 施用少量铵态氮会增加叶菜类生物量 (图 1), 即铵硝比  $<50:50$  时, 叶菜类产量平均增加 11.3%, 且与纯硝态氮处理存在显著差异。但随着铵态氮施用比例的增加, 叶菜产量出现明显下降的趋势, 且降幅随着铵态氮比例的增加而增大, 减产比例分别为 17.7% ( $50:50$ )、23.3% ( $>50:50$ )、54.6% ( $100:0$ ), 且都显著低于纯硝态氮处理。对

于叶绿素含量 (图 2), 铵态氮的添加也有促进作用, 当铵硝比  $\leq 50:50$  时, 表示显著增加了叶绿素的含量, 以铵硝比为  $50:50$  时叶菜中的叶绿素含量水平最高, 相对于纯硝处理增加了 19.3%, 较铵硝比  $<50:50$  处理增幅达 16.8%, 但当铵态氮占比超过总氮的一半时, 表示未显著增加叶类蔬菜的叶绿素含量, 甚至在纯铵处理下显著降低叶绿素含量 (24.3%)。对于可溶性蛋白含量 (图 3), 当供氮以铵态氮主导 ( $>50:50$ ) 时, 可溶性蛋白含量转纯硝态氮处理显著增加 42.2%, 而其他处理相对于纯硝态氮处理而言虽有所增加, 但效果并不显著。对于维生素 C 含量 (图 3), 增加铵态氮供应都有增加维生素 C 含量的趋势, 但仅当供铵比例  $\leq 50\%$  时效果显著, 转纯硝态氮处理增加比例分别为 20.7% ( $<50:50$ ) 和 34.8% ( $50:50$ )。对于叶菜作物的 NR 活性 (图 4), 不同铵硝配比处理间差异不显著, 但随着铵态氮比例的增加, NR 活性有明显下降的趋势。

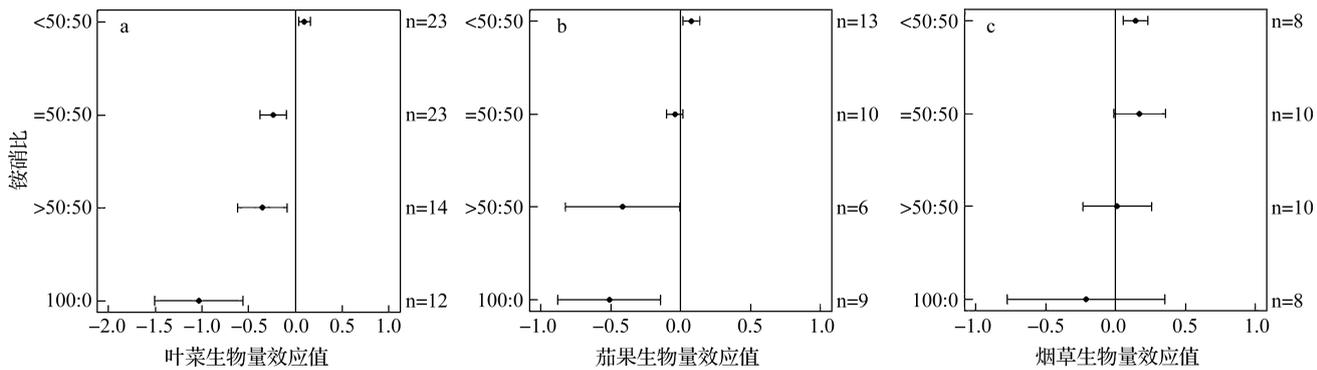


图 1 不同铵硝比对蔬菜及烟草生物量的影响

注:  $<50:50$  为铵态氮主导,  $=50:50$  为铵硝均衡,  $>50:50$  为硝态氮主导,  $100:0$  为纯铵处理。下同。

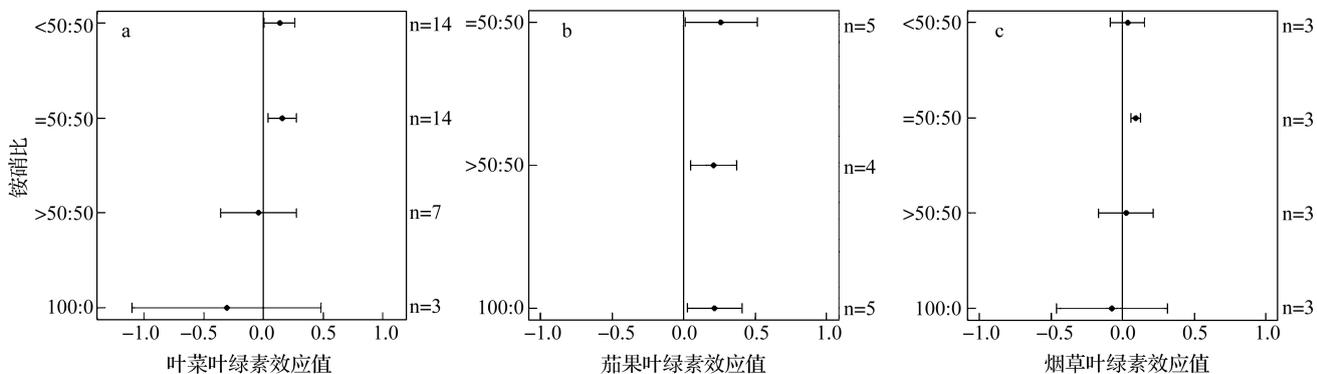


图 2 不同铵硝比对蔬菜及烟草叶绿素含量的影响

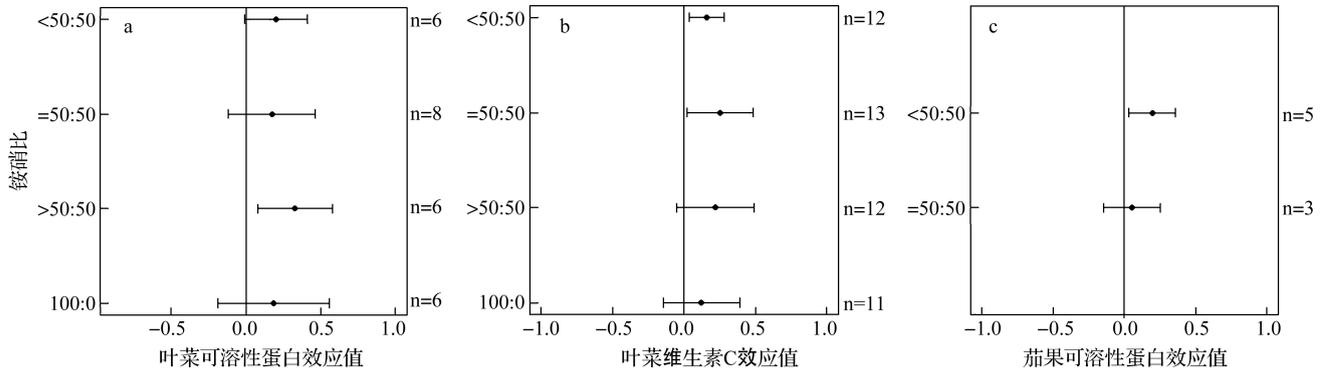


图3 不同铵硝比对蔬菜品质的影响

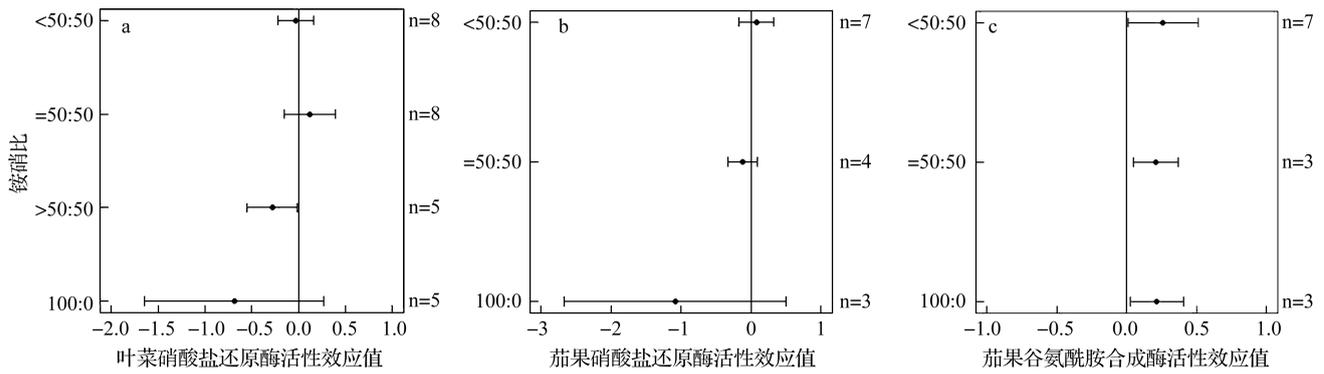


图4 不同铵硝比对蔬菜硝酸盐还原酶和谷氨酰胺合成酶活性的影响

### 2.2 不同铵硝比对茄果类作物的综合影响

基于134个样本的整合分析表明,与纯硝态氮处理相比,增加少量铵态氮,如铵硝比为25:75 (<math><50:50</math>)时,茄果类作物产量显著提高,平均增幅为8.4%,但随着铵态氮的比例增加到50%以上,茄果作物产量显著下降(图1)。对于叶绿素含量而言,铵硝比<math><50:50</math>和铵硝均衡(50:50)供应的两个处理较纯硝态氮处理均可显著增加叶绿素含量,增幅分别为10.9%、7.7%(图2)。对于可溶性蛋白含量,铵硝比<math><50:50</math>时可显著增加可溶性蛋白含量,但铵态氮比例增加到50%,可溶性固形物含量与纯硝态氮处理无显著差异(图3)。对于NR,其活性总体随着硝态氮的增加而增加,但不同铵硝配比处理间差异不显著(图4)。对于GS活性而言,各处理相比纯硝态氮处理均有所增加,其中硝主导(<math><50:50</math>)和纯铵处理增加显著,增幅分别为24.5%和33.6%(图4)。总体来说,茄果类作物对铵硝营养的响应规律与叶类蔬菜基本一致。

### 2.3 不同铵硝比对烟草的综合影响

基于87个样本的整合分析表明,与纯硝态氮处理相比,添加少量比例的铵态氮(<math><50:50</math>)和铵

硝均衡(50:50)条件下烟草类产量显著提高,较纯硝态氮处理分别增产17.5%和22.1%(图1)。叶绿素含量在铵硝均衡(50:50)时显著高于纯硝态氮处理,其中叶绿素含量增加9.5%,氮素积累量增加29.5%(图2)。

## 3 讨论

在绝大多数土壤环境与农业生产模式下,硝态氮与铵态氮是植物吸收的主要氮源。一般而言,在通气良好的旱土壤,无机氮素大多以硝态氮的形式存在,植物通过主动运输,逆浓度梯度进行吸收<sup>[19]</sup>。植物吸收硝态氮后,需要将其转化为铵态氮才能同化成有机态氮被植物自身利用,由硝态氮还原为铵态氮需要消耗大量能量,因此,将部分硝态氮用铵态氮替代后,能减少其能量消耗以供应自身生长发育<sup>[20]</sup>。

氮素能调控叶绿素的合成,叶绿素的合成以谷氨酸为原料,而谷氨酸则是无机氮素同化时最先合成的氨基酸<sup>[21]</sup>。因此,氮素存在形式的不同会显著影响氨基酸的合成,进而影响叶绿素的含量。本研究发现,蔬菜和烟草作物铵硝配比在<math>\leq 50:50</math>

时, 叶绿素含量显著提高。可能是硝态氮的存在既能补充铵态氮的含量, 又能防止铵态氮过多对植物体产生毒害<sup>[21]</sup>, 从而促进了铵态氮在谷氨酰胺合成酶/谷氨酸合成酶(GS/GOGAT)循环下合成谷氨酸, 进而提高叶绿素的含量。烟草干物质 90% 以上都来源于叶片的光合作用, 叶绿素含量直接影响到烟草的营养生长与物质积累, 本研究发现, 烟草叶片叶绿素含量与烟草产量有明显的正相关性(图 5), 这与前人的研究结果一致<sup>[22-26]</sup>。

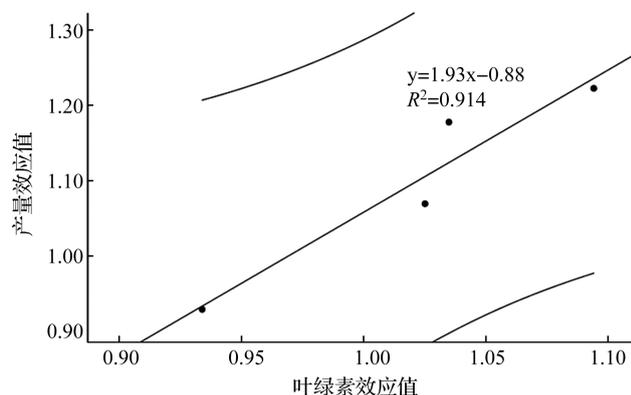


图 5 烟草叶绿素含量效应值与产量效应值的关系

NR 是硝态氮同化步骤中的限速酶<sup>[27]</sup>。硝酸盐被特异性的硝酸盐转运蛋白(NRT)高效运输到植物根细胞中, 储存在液泡里, 在细胞质中被 NR 降解成亚硝酸盐。亚硝酸盐进入根的叶绿体或非绿色组织的质体中, 在 6-铁氧还蛋白的帮助下亚硝酸还原酶(NiR)将其进一步还原成铵<sup>[28]</sup>。NO<sub>3</sub><sup>-</sup>进入细胞后, 不仅能诱导硝酸还原酶的合成, 而且对根系 NR 的稳定起重要作用<sup>[29]</sup>。NR 对蔬菜中硝酸盐的积累有重要影响。NR 含量高时蔬菜中的硝酸盐不易累积。本研究发现, 除纯铵态氮处理, 增加适宜比例的铵态氮不会对 NR 活性产生负面影响。

谷氨酰胺合成酶对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 有着高度的亲和性, 可以催化低浓度的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 同化, 而添加适宜的硝态氮可以加速这一过程。Kronzucker<sup>[30]</sup> 研究发现, 在铵硝配合条件下, 水稻根系细胞单位时间内对铵态氮的净吸收量较纯铵增加了 50%, 但是细胞质内的铵态氮含量却没有显著变化, 其余储存在液泡中或被 GS/GOGAT 系统同化。研究认为, 铵硝营养共存的条件下, 水稻根系的 GS/GOGAT 循环系统工作活跃, 从而出现铵态氮吸收增大的现象。宋科<sup>[31]</sup> 的研究发现, 烟草中 GS 活性与铵硝比呈正相关关系,

但随着铵态氮比例的增加, GS 活性的增加幅度下降, 原因可能是催化合成的谷氨酰胺对 GS 有负反馈作用, 也可能是在同化 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的过程中会产生 H<sup>+</sup> 使细胞内 pH 值下降, 进而抑制 GS 活性。汪建飞等<sup>[32]</sup> 研究发现在所有铵硝配合的处理中, 菠菜茎叶中 GS 的活性都高于纯硝处理, 且其活性先随着铵硝比的增加而增加, 当铵硝比超过 50:50 时, 呈现出下降的趋势。公华锐<sup>[33]</sup> 发现, 不同铵硝配比显著影响番茄叶片 GS 活性, 且 GS 活性与铵态氮比例呈正相关关系。

维生素 C 含量是蔬菜品质的重要指标, 氮肥的大量施用会显著降低蔬菜中维生素 C 的含量<sup>[34]</sup>。孙园园等<sup>[35]</sup> 认为, 氮素形态的不同对菠菜叶片抗坏血酸含量的影响可能与一些酶相关; 杨月英等<sup>[36]</sup> 发现, 番茄中维生素 C 含量随铵态氮比例增加而增加; 刘宁等<sup>[37]</sup> 认为, 生菜在铵硝比为 25:75 时, 还原型抗坏血酸含量多, 氧化型抗坏血酸含量少, 说明此时生菜受胁迫较少, 生菜的铵硝配比具有良好的适应性。目前关于氮素形态对维生素 C 影响机理尚缺乏报道, 需要进一步的探索。

#### 4 结论

本研究通过对 77 篇文献的整合分析, 阐明了蔬菜及烟草作物在不同铵硝营养供应下对产量、品质和生理特性指标的响应情况, 并筛选了作物最佳铵硝配比。整体而言, 蔬菜和烟草都是喜硝类作物, 当用纯铵供应或铵态氮比例超过硝态氮时, 作物会出现显著减产和品质下降的规律。增加适宜比例的铵态氮则对以上作物类型产量增加和品质提升有较好的促进作用, 但添加比例不宜超过 50%, 三类作物都在铵硝比为 25:75 ~ 50:50 时产量和品质协同提升的效果最大。其中, 蔬菜在铵硝比为 25:75 时综合效应最好, 而烟草作物则以铵硝比为 50:50 综合效应最佳。

#### 参考文献:

- [1] 赵平, 孙谷畴, 彭少麟. 植物氮素营养的生理生态学研究[J]. 生态科学, 1998 (2): 39-44.
- [2] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对作物生理特性及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 2004 (5): 581-586.
- [3] 梁计南, 谭中文, 陈真元, 等. 甘蔗不同施氮方法与产量及糖分的关系[J]. 甘蔗, 2000 (4): 1-10.
- [4] 张亚丽, 董园园, 沈其荣, 等. 不同水稻品种对铵态氮和硝态氮吸收特性的研究[J]. 土壤学报, 2004 (6): 918-

- 923.
- [5] 曹翠玲, 李生秀. 氮素形态对小麦中后期的生理效应 [J]. 作物学报, 2003 (2): 258-262.
- [6] 陶文广. 烤烟一次性施肥不同肥料配比对烤烟产质量的影响 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2017.
- [7] 马英杰. 不同氮素对叶菜硝酸盐积累及品质的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2014.
- [8] 刘国英. 亚低温胁迫下氮素形态对番茄幼苗生理特性和根系形态的影响 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2014.
- [9] 焦娟, 魏珉, 谷端银, 等. 氮素形态及配比对番茄光合、产量和风味品质的影响 [J]. 山东农业大学学报 (自然科学版), 2022, 53 (1): 1-9.
- [10] Barreto R F, Rodrigues Cruz F J, Gaion L A, et al. Accompanying ions of ammonium sources and nitrate: ammonium ratios in tomato plants [J]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2018, 181 (3): 382-387.
- [11] 李庆余, 徐新娟, 顾海龙, 等. 氮素形态对樱桃番茄果实发育中氮代谢的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21 (9): 2335-2341.
- [12] Liu G, Du Q, Li J. Interactive effects of nitrate-ammonium ratios and temperatures on growth, photosynthesis, and nitrogen metabolism of tomato seedlings [J]. *Scientia Horticulturae*, 2017, 214: 41-50.
- [13] Valkama E, Salo T, Esala M, et al. Nitrogen balances and yields of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: A meta-analysis [J]. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2013, 164: 1-13.
- [14] Valkama E, Salo T, Esala M, et al. Grain quality and N uptake of spring cereals as affected by nitrogen fertilization in northern conditions: a meta-analysis [J]. *Agricultural & Food Science*, 2013, 22 (2): 208-222.
- [15] Hedges, Larry V, Jessica G, et al. The Meta-analysis of response ratios in experimental ecology [J]. *Ecology*, 1999, 80 (4): 1150-1156.
- [16] Adams D C, Gurevitch J, Rosenberg M S. Resampling tests for Meta-Analysis of ecological data [J]. *Ecology*, 1997, 78 (4): 1277-1283.
- [17] 郭晓睿, 宋涛, 邓丽娟, 等. 果园生草对中国果园土壤肥力和生产力影响的整合分析 [J]. 应用生态学报, 2021, 32 (11): 4021-4028.
- [18] Lajeunesse M J. Bias and correction for the log response ratio in ecological meta-analysis [J]. *Ecology*, 2015, 96 (8): 2056-2063.
- [19] 王明霞. 不同叶菜类蔬菜利用硝态氮的生理生化机理研究 [D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [20] 栗海俊. 不同形态氮素营养和水分胁迫影响水稻幼苗生长及渗透调节机制的研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [21] 汪良驹, 姜卫兵, 章镇, 等. 5-氨基乙酰丙酸的生物合成和生理活性及其在农业中的潜在应用 [J]. 植物生理学通讯, 2003 (3): 185-192.
- [22] 王晓琳. 氮素水平对烟草幼苗叶片光合特性的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2019.
- [23] 张延春, 陈治锋, 龙怀玉, 等. 不同氮素形态及比例对烤烟长势、产量及部分品质因素的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2005 (6): 81-86.
- [24] 石磊. 不同氮素形态配施对烤烟生理特性及内在品质的影响 [D]. 延边: 延边大学, 2011.
- [25] 凌寿方, 李德强. 铵态氮与硝态氮不同配比对烟叶产量和质量的影响 [J]. 广东农业科学, 2006 (8): 50-52.
- [26] 王发勇, 袁清华, 张宏建, 等. 不同氮素形态配比影响始兴烟叶生产的比较分析 [J]. 广东农业科学, 2018, 45 (2): 68-74.
- [27] 陈煜, 朱保葛, 张敬, 等. 不同氮源对大豆硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶活性及蛋白质含量的影响 [J]. 大豆科学, 2004 (2): 143-146.
- [28] 李彦华, 杨芸, 徐卫红, 等. 不同小白菜品种硝酸盐含量、氮代谢关键酶活性及 NRT1 表达和亚细胞定位 [J]. 食品科学, 2018, 39 (7): 78-84.
- [29] 戴廷波, 曹卫星, 孙传范, 等. 增铵营养对小麦光合作用及硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶的影响 [J]. 应用生态学报, 2003 (9): 1529-1532.
- [30] Kronzucker H J. Nitrate-ammonium synergism in rice. A Subcellular flux analysis [J]. *Plant Physiology*, 1999, 119 (3): 1041-1045.
- [31] 宋科. 铵硝混合营养对烤烟苗期根系生长的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2017.
- [32] 汪建飞, 董彩霞, 沈其荣. 氮素不同形态配比对菠菜体内游离氨基酸含量和相关酶活性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007 (4): 664-670.
- [33] 公华锐. 营养液中不同硝铵比对几种基质栽培设施蔬菜生长的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2017.
- [34] 焦峰, 彭东君, 朱本源, 等. 施氮对马铃薯品质指标的影响 [J]. 安徽农业科学, 2013, 41 (20): 8810-8812.
- [35] 孙园园, 林咸永, 金崇伟, 等. 氮素形态对菠菜体内抗坏血酸含量及其代谢的影响 [J]. 浙江大学学报 (农业与生命科学版), 2009, 35 (3): 292-298.
- [36] 杨月英, 张福墀, 乔晓军. 不同形态氮素对基质培番茄生育、产量及品质的影响 [J]. 华北农学报, 2003 (1): 86-89.
- [37] 刘宁, 勾启莹, 韩莹琰, 等. 不同氮素配比对生菜抗坏血酸—谷胱甘肽循环的影响 [J]. 北京农学院学报, 2020, 35 (2): 59-64.

**Effects of different ammonium and nitrate nitrogen ratios on yield and quality of vegetables and tobacco—A meta-analysis**

CHEN Jia-tao<sup>1</sup>, LI Jing-hua<sup>1, 2</sup>, FAN Fan<sup>3</sup>, RUAN Yun-ze<sup>1, 2</sup>, LI Ting-yu<sup>1, 2\*</sup> (1. College of Tropical Crops, Hainan University, Haikou Hainan 570208; 2. Sanya Nanfang Research Institute of Hainan University, Sanya Hainan 572000; 3. Institute of Crops Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081)

**Abstract:** Nitrogen nutrition is an essential macro-element for crops. Different forms of nitrogen nutrition significantly affect the absorption and physiological metabolism of crops, thus affecting crop yield and quality. Vegetables and tobacco are typical nitrate-preferring crops, but recent studies have found that appropriate supplement of ammonium can improve crop yield and quality effectively. However, there is a lack of robust verification by analyzing large samples, which leads to no definitive conclusion being formed. A total of 77 studies that analyzed the effects of different ammonium and nitrate nitrogen ratios on the growth of vegetables and tobacco crops published from 2000 to 2022 were collected to build up new dataset. The Meta-analysis was used to evaluate the comprehensive effects of different ammonium and nitrate nitrogen ratios on the yield, quality and photosynthetic characteristics of different crops, in order to provide scientific support for improving nutrition management level. Totally, vegetables and tobacco preferred nitrate nitrogen, but compared with the pure nitrate nitrogen supply, adding a certain proportion of ammonium significantly increased crop biomass, and the best proportion of ammonium nitrogen was less than 50%. Under this ammonium-nitrate ratio, leaf vegetable biomass and solanaceous vegetables biomass increased by 11.3% and 8.4%, respectively. When the proportion of ammonium nitrogen increased to more than 50% or 100% supply, the biomass of vegetable crops decreased or showed no significant improvement effect. The change of soluble protein content showed different trend. The content of soluble protein in leafy vegetables increased by 42.2% when ammonium was dominant (>50 : 50), and the content of soluble protein in solanaceous vegetables increased by 22.7% when nitrate was dominant (<50 : 50). The vitamin C content in leafy vegetables increased the most only when the proportion of ammonium was  $\leq 50\%$ . For tobacco, when the supply of ammonium and nitrate nitrogen was balanced (50 : 50), the yield and physiological indexes achieved the best levels, for example, compared with pure nitrate treatment, the biomass increased by 22.1%. At the same time, when ammonium and nitrate was balanced (50 : 50), the chlorophyll contents in vegetable crops and tobacco showed the highest. The above effectively confirmed the positive effect of appropriate ammonium-nitrate nitrogen ratios on crop biomass and quality in vegetable and tobacco production. Notably, it was necessary to ensure that the proportion of ammonium was lower than that of nitrate to avoid yield reduction and quality decline. This study provided scientific support for better nitrogen nutrition management of vegetable crops and tobacco.

**Key words:** nitrogen forms; ammonium nitrate ratio; yield; quality; Meta-analysis