

有机肥施用对黄瓜产量影响的整合分析

康敏^{1,2,3}, 聂园军¹, 张晨阳^{2,3}, 王媛³

(1. 山西农业大学农业经济管理学院 太原 030006; 2. 山西农业大学生态环境产业技术研究院 太原 030031;
3. 山西农业大学资源环境学院 山西太谷 030800)

摘要: 有机肥能促进黄瓜高产稳产,但在不同试验条件下,黄瓜产量对有机肥的响应具有差异性。因此,为探明黄瓜种植中有机肥产量效应的主要影响因素及影响程度,搜集 41 篇文献,建立样本量为 116 的数据库,利用整合分析方法(Meta-analysis)量化分析有机肥类型、施肥管理以及环境因素对有机肥产量效应的影响。结果表明,有机肥的平均增产率为 15.5%,置信区间为(10.7%~18.1%)。进一步亚组分析表明,沼肥的增产率(35.9%)显著高于普通有机肥;有机肥投入量大于 30 t·hm²,N、K₂O 投入量大于 400 kg·hm²时,黄瓜增产率在 31.4%以上;华北增产率最高(26.6%);日光温室比塑料大棚、大田黄瓜的增产率分别高 3.0、4.6 个百分点;在中性土壤条件下,有机肥增产效果最大(26.6%)。因此,施用有机肥提升黄瓜产量要综合考虑有机肥养分特征、与无机肥的配施方式、种植环境以及土壤特性等因素。

关键词: 黄瓜;有机肥;产量;整合分析

中图分类号:S642.2 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2023)10-057-08

Effects of organic fertilizer on cucumber yield: A Meta-analysis

KANG Min^{1,2,3}, NIE Yuanjun¹, ZHANG Chenyang^{2,3}, WANG Yuan³

(1. College of Agricultural Economics and Management, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030006, Shanxi, China; 2. Academy of Eco-environment and Industrial Technology, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, Shanxi, China; 3. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030800, Shanxi, China)

Abstract: Organic fertilizer could increase and stabilize cucumber yield, but in different environments, the cucumber yield responded heterogeneously to organic fertilizer. Therefore, quantifying the cucumber yield effect of organic fertilizer is important. The published literature in the past (a total of 41 pieces of literature and 116 pairs data) was collected and sorted out. By using Meta-analysis method, the comprehensive effect of organic fertilizer on cucumber yield was clarified at three aspects: organic fertilizer types, fertilization management and environmental factors. The results showed that organic fertilizer significantly increased cucumber yield, and the average increasing rate was about 15.5% with a 95% confidence interval of (10.7%-18.1%). Then the subgroup-analysis indicated that the yield increase rate of biogas fertilizer (35.9%) was significantly higher than other types of manure. The amount of organic fertilizer, nitrogen and potassium exceeded respectively 30 t·hm², 400 kg·hm², 400 kg·hm², the rate reached more than 31.4%. North China had the higher increasing rate (26.6%) than other regions. The rate of sunlight greenhouse was 3.0% and 4.6% higher than that of plastic greenhouse and open field after application of manure, respectively. Under neutral soil conditions, the yield effect of manure was more high(26.6%). Overall, the yield effect of manure should comprehensively consider the nutrient characteristics and combined application of manure, planting environment, soil characteristics.

Key words: Cucumber; Organic fertilizer; Yield; Meta-analysis

黄瓜种植范围广,宜生食宜熟食,是我国居民的常年食用蔬菜。农户为了获得高产,盲目过量施用化肥,引起菜地土壤板结,影响黄瓜的产量和品质,并可能引发环境污染^[1]。2017年以来,农业农村部全面开展“果菜茶有机肥替代”试点工作,2022年

在《到2025年化肥减量化行动方案》中提出进一步强化蔬菜种植中减氮、控磷、稳钾,增施有机肥。

干物质积累是作物产量形成的物质基础,施肥影响土壤养分积累、作物养分吸收和干物质积累分配,从而影响产量^[2-3]。无机肥所含速效养分能有效

收稿日期:2023-05-04;修回日期:2023-08-29

基金项目:山西省科技成果转化引导专项(202104021301045,202204021301027);山西省农业农村六新项目(202131)

作者简介:康敏,女,助理研究员,研究方向为作物土壤互作与农业生态经济。E-mail:kangminyixiu@sina.com

通信作者:聂园军,男,副研究员,研究方向为蔬菜优质高效栽培。E-mail:yjnie@sxau.edu.cn

提高作物产量;有机肥的增产机制与无机肥有所不同,有机肥在改善土壤理化性质、优化土壤水气条件、提高土壤微生物活性、提高作物抗病能力方面有着不可替代的作用,可促进作物优质高产^[4-5]。有机肥类型不同,产量效应也不同,尤彩霞^[6]的试验表明,不同类型的有机肥均能提高黄瓜产量 15.56%以上,其中牛粪配施化肥的增产效果更加显著;李子双等^[7]研究表明,生物有机肥配施无机肥优于纯有机肥与无机肥配施,生物有机肥在微生物分解下,养分释放能更好地满足黄瓜生长的需要,增产率达到 64.08%。另外,张洋等^[8]通过有机肥配施等量无机肥的试验发现,随着有机肥施用量的增加,黄瓜产量表现出增长趋势,但增产效果不大,与单施化肥相比,有机肥施用量达到 3750 kg·hm⁻²时增产率最高,但也仅为 3.80%;王明文等^[9]在有机肥替代化肥的试验中发现,与单施化肥相比,施用有机肥 3075 kg·hm⁻²时,黄瓜产量提高 8.7%,施用有机肥 6150 kg·hm⁻²时,增产率最高,为 23.6%,而 100%施用有机肥(30 750 kg·hm⁻²)反而减产 22.5%。

综上所述可以看出,不同类型、不同用量的有机肥对黄瓜的增产作用不同,相同类型或相同用量的有机肥在不同试验中的增产效果也不同。虽然很多学者通过田间试验分析了有机肥对黄瓜产量的影响,积累了大量的试验数据,但田间试验往往强调单一变量对照,随机因素的影响较大,研究结论存在一定局限性。有机肥增产效果还可能受种植环境、施肥管理等因素的影响^[10-13],具体原因有待进一步研究。

整合分析(Meta-analysis)汇总多个同类试验,不仅能扩大研究样本量,提高检验效能,尤其当多个研究结论出现不一致或者没有统计学意义时,Meta 分析结果更加接近真实统计^[14-15]。因此,笔者收集整理近 18 年(2004 年 7 月至 2022 年 7 月)公开发表的试验数据,利用 Meta 分析方法研究国内有机肥对黄瓜产量的影响,并进一步讨论有机肥类型、施肥管理、环境因素对黄瓜产量的影响程度,旨在为黄瓜高产稳产以及有机肥合理施用提供科学依据。

1 研究方法

1.1 数据来源

以黄瓜、产量、有机肥为关键词在中国知网、百度文库、Sci-hub、NCBI 搜集截止到 2023 年 1 月之前公开发表的相关研究资料。数据筛选条件如下:

(1)试验地点位于中国地区;(2)按照 Meta 分析原则,文中必须有“不施肥”与“单施有机肥”或者“单施化肥”与“有机无机配施”的对比试验处理;(3)文中必须说明各试验处理的重复数以及黄瓜产量均值;(4)对于信息不全的文献,通过联系作者或者查阅资料补充信息;(5)相同试验结论如出现在不同文献中,不重复统计,保证数据的相互独立性。最终,获得 41 篇文献、样本量为 116 的独立试验数据库。

1.2 数据库建立

1.2.1 文献信息 提取作者姓名、作者单位、论文题目、发表时间、发表刊物等文献信息作为发表偏倚性分析的参考。

1.2.2 指标数据 笔者分析的指标是黄瓜产量,是指各试验处理累计采收的黄瓜总产量的均值。提取对照组(CK)和处理组(T)的黄瓜产量值,以及相应的标准差、处理重复次数(n),并把产量、标准差的单位统一换算为 kg·hm⁻²。文献中的数值型数据直接摘录,图表数据用 Getdata 软件提取。

如果文献中用标准误表示离散程度,根据公式(1)转换为标准差;当文献中无法获得标准差或标准误时,用产量的 5%作为标准差,采用这种方法计算标准差的样本量不超过总样本的 10%。

$$s = s_x \sqrt{n} \quad (1)$$

1.2.3 亚组分析因子 Meta 分析的基础假设是研究对象及影响因素具有相似性,但实际试验过程中可能会存在异质性干扰^[16]。在黄瓜生产中,有机肥类型、施肥管理、环境因素可能是形成有机肥产量效应差异的来源。因此,按照一定特征对这些因素进行分组分析,即通过亚组分析(Subgroup-analysis)比较各亚组的效应值差异,从而探索异质性来源。

参照 NY/T 525—2021《有机肥料》^[17]以及有机肥养分特征^[18-19]对有机肥类型进行分组;施肥管理的分组,主要根据黄瓜需肥特点^[20-21],设定有机肥施用量、施氮折纯量(N)、施磷折纯量(P₂O₅)、施钾折纯量(K₂O)以及施肥次数的分组;环境因素主要选择土壤特性、种植环境、种植区域 3 个因子,其中,结合菜地土壤肥力特征^[22-25]确定土壤全氮含量、土壤 pH 的区间。具体的亚组因子及分组见表 1。

1.3 数据分析

利用 Meta 分析可以定量分析在不同条件下施用有机肥对黄瓜产量的影响程度,这一影响程度可以用效应值衡量。笔者采用 Metawin 2.1 软件进行数据整合分析。

表 1 亚组因子及分组
Table 1 Subgroup factors and grouping

亚组因子	分组
有机肥类型	蚯蚓肥、有机无机复合肥、沼肥、农家肥、生物有机肥、商品有机肥
施肥管理	施肥量 有机肥施用量 $t \cdot hm^{-2}$ (<2; 2~5; >5~20; >20~30; >30) 施氮折纯量 $kg \cdot hm^{-2}$ (<150; 150~250; >250~400; >400) 施磷折纯量 $kg \cdot hm^{-2}$ (<50; 50~100; >100~200; >200) 施钾折纯量 $kg \cdot hm^{-2}$ (<150; 150~400; >400)
	施肥次数 1次、2~4次、5次及以上
环境因素	土壤特性 土壤 pH (≤ 6.5 ; >6.5~7.5; >7.5) 土壤全氮含量 ($w, g \cdot kg^{-1}$) (≤ 0.8 ; >0.8~1.5; >1.5)
	种植环境 日光温室、塑料大棚、大田
	种植区域 华东主产区(上海、江苏、浙江、山东、安徽) 华北主产区(北京、天津、河北、山西、河南) 西北主产区(陕西、甘肃、青海、宁夏) 华南主产区(广东、湖南)

1.3.1 计算各试验的效应值及其权重 选用响应比(Response Ratios, RR_i)的自然对数($\ln RR_i$)作为第 i 组试验的效应值^[26]。响应比是指处理试验产量 T_i 与对照试验产量 CK_i 的比值;其中,“单施有机肥”的对照是“不施肥”,“有机无机配施”的对照是“单施化肥”。权重(W_i)是第 i 组试验在总体结果中的占比,通过方差(V_i)计算。具体公式^[27]如下:

$$RR_i = \frac{T_i}{CK_i}; \quad (2)$$

$$\ln RR_i = \ln T_i - \ln CK_i; \quad (3)$$

$$V_i = \frac{SD_{T_i}^2}{n_{T_i} T_i^2} + \frac{SD_{CK_i}^2}{n_{CK_i} CK_i^2}; \quad (4)$$

$$W_i = \frac{1}{V_i}。 \quad (5)$$

式中, $RR_i, \ln RR_i$ 分别是第 i 组试验的响应比和效应值; T_i, s_{T_i}, n_{T_i} 分别为第 i 组处理试验的产量均值、标准差、重复数; CK_i, s_{CK_i}, n_{CK_i} 分别为第 i 组对照

试验的产量均值、标准差、重复数。

1.3.2 发表偏倚性及异质性检验 通过正态分布检验、 I^2 检验,分析研究样本的发表偏倚性和异质性^[28]。如果效应值($\ln RR_i$)服从正态分布,说明样本不存在明显的偏倚。如果 $I^2 < 50\%$ 且 $p \geq 0.1$,说明不存在异质性;如果 $I^2 \geq 50\%$ 且 $p < 0.1$,说明存在异质性。统计量 I^2 计算公式如下:

$$I^2 = (Q - df) / Q。 \quad (6)$$

其中, Q 为异质性检验的统计量, df 为自由度。

笔者运用 SPSS 26.0 软件进行正态分布检验,效应值呈现正态分布(见图 1),说明纳入研究的样本不存在明显的偏倚性,符合 Meta 分析的要求。Metawin 2.1 软件 I^2 检验结果 $p = 0.000, I^2 = 55.9\%$,表明研究存在异质性,也进一步说明亚组分析的必要性。

1.3.3 计算综合效应值及置信区间 综合效应值($\ln RR_{++}$)是整体样本或亚组样本的平均效应值^[29]。

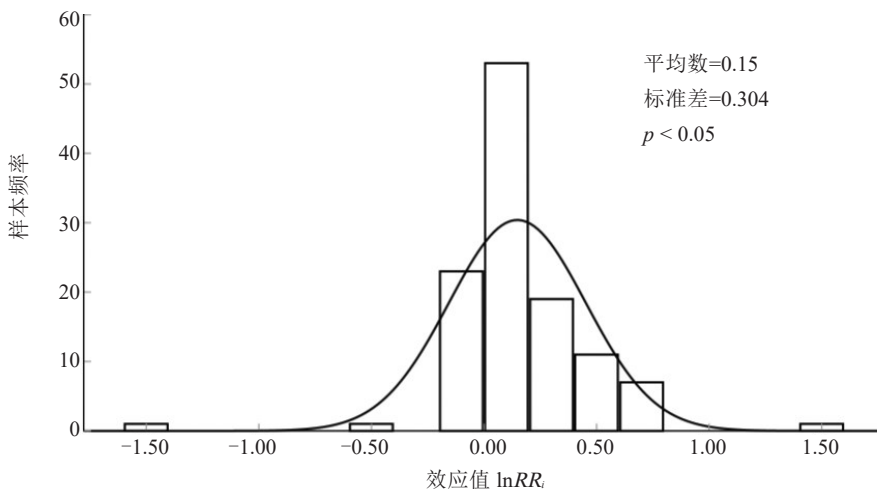


图 1 施用有机肥后黄瓜产量效应值的分布

Fig. 1 Distribution of cucumber yield response to fertilizer application

因存在异质性,笔者采用随机效应模型(Random Effect Model, REM)计算综合效应值及其95%置信区间(95% Confidence Interval, 95% CI),计算公式如下:

若 $\ln RR_{++}$ 大于 0,且其置信区间全部落在大于 0 的区间,说明有机肥对黄瓜有显著增产作用;否则,若置信区间包含 0,说明无显著增产作用。同理,若 $\ln RR_{++}$ 小于 0,且置信区间全部落在小于 0 的区间,说明有机肥对黄瓜有显著减产作用;否则,认为减产效应不显著。

为了更加直观地了解有机肥对黄瓜产量的影响,将对数形式的综合效应值变换为产量变化率 R ,转换公式为: $R=(EXP \ln RR_{++}-1) \times 100\%$ 。

2 结果与分析

2.1 有机肥产量效应的整体分析

通过计算整体样本的综合效应值及其置信区间(表 2),可以看出,施用有机肥能显著提高黄瓜产量,平均增产率为 15.5%,95%置信区间为(10.7%~18.1%)。

表 2 黄瓜产量的整体平均效应值

模型	$\ln RR_{++}$	95% CI		R	n	df	Q	p
		上限	下限					
随机效应型	14.4%	10.7%	18.1%	15.5%	116	115	260.95	0.00

注: R 为产量变化率; n 为样本量; df 为自由度; Q 为异质性检验的统计量; p 为异质性检验的显著度。

2.2 有机肥产量效应的亚组分析

亚组分析将数据分为更小的单元,分别计算有机肥类型、施肥管理、环境因素的亚组综合效应值及其置信区间,进而判断亚组因子对有机肥产量效应的影响。

2.2.1 有机肥类型对黄瓜产量的影响 如图 2 所示,不同类型有机肥对黄瓜产量的影响具有显著差异性($p=0.049$)。其中,沼肥增产率最高,为 35.9%,显著高于生物有机肥(18.9%)、商品有机肥(17.3%)、农家肥(10.3%)的增产率,而有机无机复合肥与单施化肥相比无显著增产效果;数据库中蚯蚓肥样本量较少(5个),增产率的变异较大。

2.2.2 施肥管理对黄瓜产量的影响 除磷肥外($p>0.05$),有机肥、氮肥、钾肥施用量对有机肥的产量效

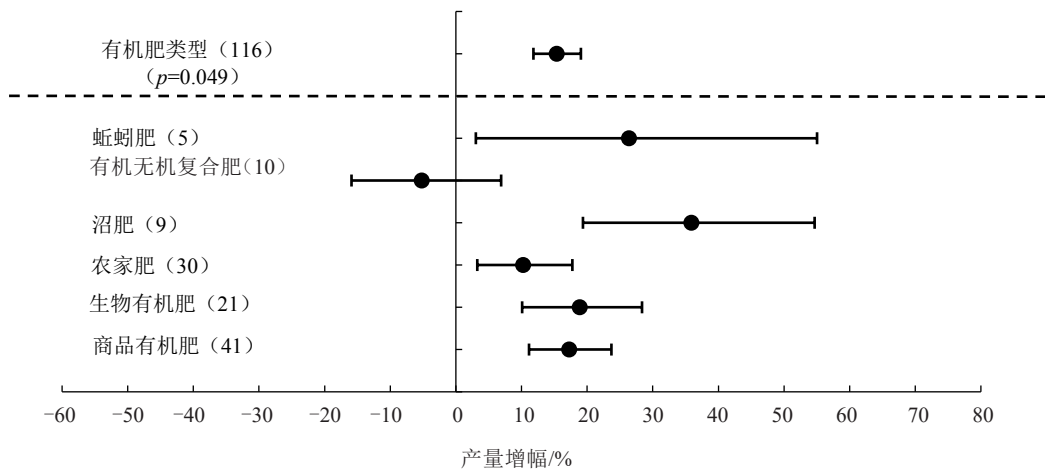


图 2 不同类型有机肥对黄瓜的增产效果

Fig. 2 Yield enhancement effect of different types organic fertilizer on cucumber

应均具有显著影响(分别为: $p=0.004$ 、 $p=0.003$ 、 $p=0.022$)。如图 3 所示,有机肥施用量小于 $2 t \cdot hm^{-2}$ 时,增产效果不显著;有机肥施用量大于 $5 t \cdot hm^{-2}$ 后,黄瓜增产率随着有机肥投入量增加而提高。当有机肥施用量大于 $30 t \cdot hm^{-2}$ 后,增产率达到 40.8%。同样,当施氮折纯量大于 $150 kg \cdot hm^{-2}$ 后,黄瓜产量对有机肥的响应表现出显著增产性,并随着氮投入量的增加黄瓜增产率不断提高,施氮量大于 $400 kg \cdot hm^{-2}$ 时,增产率达到 31.4%。施钾折纯量表

现出与施氮折纯量相似的产量效应,当钾肥投入量大于 $400 kg \cdot hm^{-2}$ 时,增产率为 33.4%。

施肥次数对黄瓜增产率的影响显著($p=0.002$)。仅基施有机肥的增产率为 18.6%;施肥 2~4 次的增产率最高,为 19.7%;而施肥 5 次以上的数据量较少($n=11$),增产效果不显著(图 4)。

2.2.3 环境因素对黄瓜产量的影响 在不同种植地区施用有机肥后,黄瓜的平均增产率为 17.0%($p=0.023$)。如图 5 所示,除华南地区外,西北、华北、华

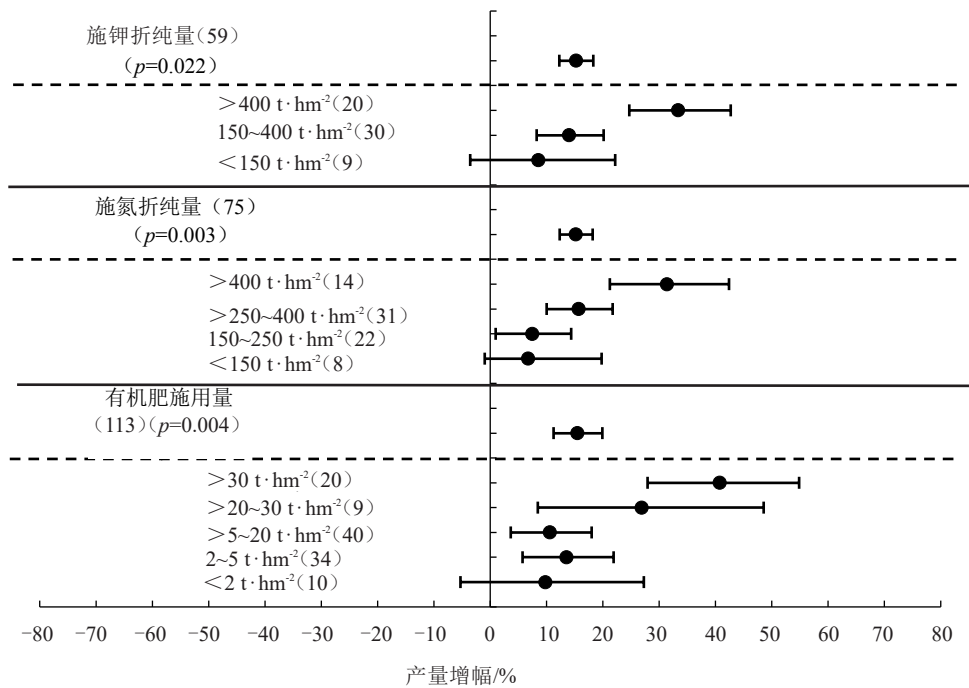


图3 不同施肥量下有机肥的产量效应

Fig. 3 Yield effect of manure with different application rates

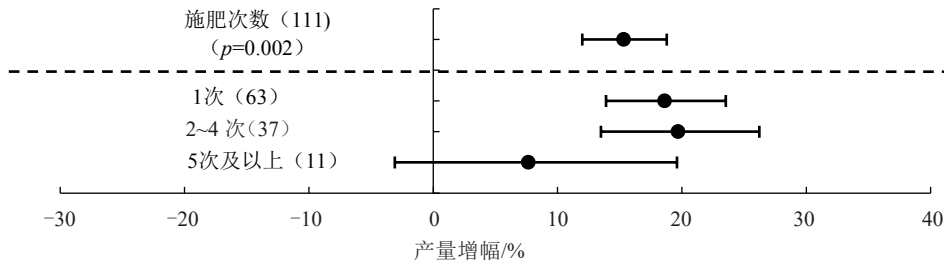


图4 不同施肥次数下有机肥的产量效应

Fig. 4 Yield effect of manure with different fertilization times

东施用有机肥都显著提升了黄瓜产量。华北增产率最高,为26.6%,西北、华东增产率分别为21.1%、14.2%。该结果表明,有机肥对黄瓜的增产效果存在区域差异性。

不同种植环境下,施用有机肥均显著提升了黄

瓜的产量(p=0.009)。如图6所示,日光温室对黄瓜的增产率(17.3%)显著高于塑料大棚(增产率14.3%)和大田(增产率12.7%)。可以看出,两种设施黄瓜的增产率也有差异,日光温室增产率显著高出塑料大棚3.0个百分点。

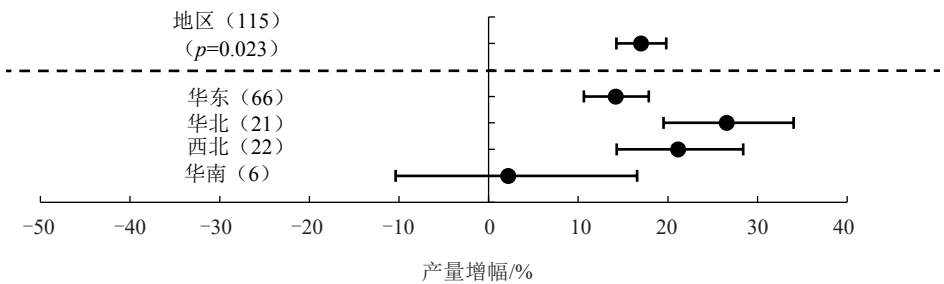


图5 不同种植地区有机肥的产量效应

Fig. 5 Yield effect of manure in different planting areas

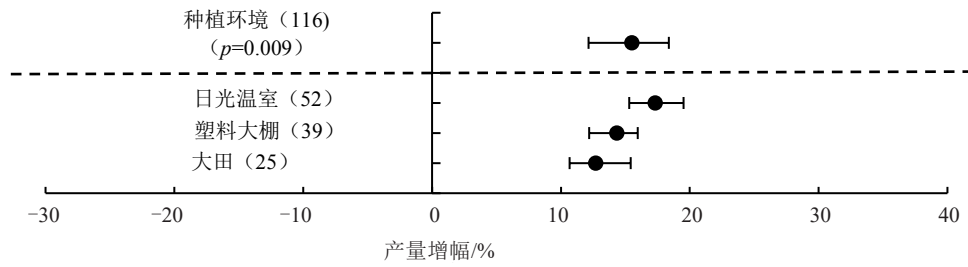


图 6 不同种植环境下有机肥的增产效应

Fig. 6 Yield effect of manure under different planting environments

如图 7 所示,土壤 pH、土壤全氮对有机肥的产量效应均表现出显著性影响(分别为: $p=0.014$ 、 $p=0.005$)。在酸性土壤条件下(pH 低于 6.5),施用有机肥对黄瓜没有显著增产效果;在中性土壤条件下

(pH 6.5~7.5),施用有机肥的增产率最高,达到 26.6%;而在碱性土壤中(pH>7.5)黄瓜增产率有所降低,为 17.8%。土壤全氮含量大于 $1.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,有机肥施用表现出显著增产性,增产率为 24.3%。

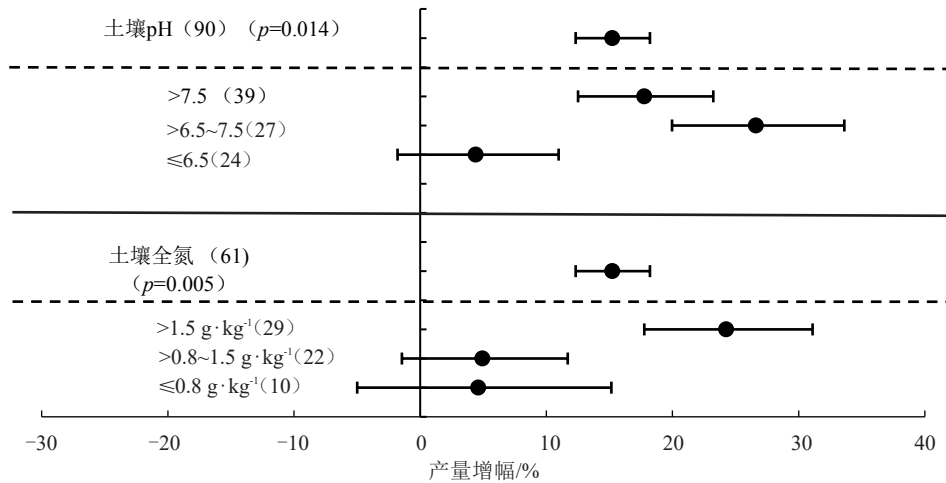


图 7 不同土壤特性下有机肥的产量效应

Fig. 7 Yield effect of manure under different soil characteristics

3 讨论与结论

有机肥不仅含有植物易于吸收利用的小分子有机化合物和无机态养分,还可以通过改善土壤性状、增加土壤离子交换位点以提高土壤养分供应能力^[30-31],促进作物增产。但不同类型的有机肥增产效果不同,本研究结果表明,沼肥增产效果优于普通有机肥。沼肥不仅营养元素全面,还有抑制有害菌虫繁殖、降低病害发生率的功效^[32],尤其是对设施黄瓜因土传病害、连作障碍带来的减产问题有较好的调控效果^[33]。

黄瓜属于多茬采收作物,充足持续的养分供应才能保证生物量的积累^[34],黄瓜整个生育期需钾量最多,氮次之,需磷最少,每形成 1 kg 黄瓜需要吸收 N、 P_2O_5 、 K_2O 的质量比为 1:0.46:1.16^[35]。其中,磷主要影响黄瓜抗逆抗病性^[36],这可能是笔者发现在

不同施磷量条件下,有机肥对黄瓜增产效果不显著的原因。此外,本试验结果表明,只有当有机肥、氮素、钾素的投入量达到一定水平后,有机肥才表现出增产效果,并且黄瓜产量随着投入量的增加而提高。当有机肥投入量大于 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 且 N、 K_2O 投入量大于 $400 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,黄瓜增产率在 31.4% 以上,与关天霞等^[37]施用鸡粪 $30 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 且 N $390 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $408 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 以上时,黄瓜增产 26.4%~50.1% 的结论基本一致。但王明文等^[9]在施用 N $444 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $480 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的基础上仅配施有机肥 $6.15 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,黄瓜就可以达到最高增产率 (23.6%),其原因可能是该试验中的商品有机肥有机质含量较高($\geq 45\%$);但也有研究认为,有机肥的产量效应与土壤肥力水平有关,在中等肥力的土壤条件下,仅基施有机肥 $22.5 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$,黄瓜增产率就可达到 23.2%^[38],追施氮肥反而会降低黄瓜产量。徐

明岗^[39]通过30多年长期试验发现,当土壤有机质含量达到 $30\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时,再增施化肥对作物没有显著增产效果。本试验结果也表明,土壤全氮含量达到一定水平时($1.5\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$),施用有机肥才有显著增产效果,而SOM与土壤全氮具有显著相关性^[40]。另外,施肥次数影响肥料养分释放,在黄瓜生长后期每隔14 d追施化肥1次,单瓜质量有显著提高^[41],一般黄瓜盛果期为30~60 d,追肥2~4次增产效果较优,与本研究结论基本一致。

环境与基因型的交互作用影响作物产量形成。黄瓜喜温喜光,不耐寒和高温,适宜生长的温度为 $18\sim 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、土壤湿度为 $85\%\sim 90\%$ 、土壤pH为 $5.5\sim 7.6$ 、昼夜温差为 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、低温寡照、 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的高温胁迫均会造成大量落花落果,影响产量^[42-46]。因此,笔者发现华北地区的增产率高于西北、华东、华南地区,原因可能是华北地区属于温室一级适宜气候环境^[47],在保证养分供应条件下更易获得高产;日光温室对黄瓜的有机肥增产效应优于塑料大棚和大田,可能也是因为日光温室的空气温度湿度、土壤温度湿度以及昼夜温差更适合黄瓜生长^[48]。另外,目前有机肥在不同设施种植环境下(塑料大棚与日光温室)产量效应差异的比较研究较少,笔者的研究定量地给出了两者的增产率。

综上所述,施用有机肥可以显著提升黄瓜产量,不同有机肥类型、施肥管理措施、环境因素均能显著影响有机肥对黄瓜的产量效应。施用有机肥不能仅仅关注施用量,还要综合考虑有机肥养分特征、与无机肥的配施方式、种植环境以及土壤特性等因素。

参考文献

- [1] 苏淑仪. 化肥施用总量控制下蔬菜种植户有机肥替代行为研究[D]. 山东泰安: 山东农业大学, 2022.
- [2] ZHAO H T, LI T P, ZHANG Y, et al. Effects of vermicompost amendment as a basal fertilizer on soil properties and cucumber yield and quality under continuous cropping conditions in a greenhouse[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2017, 17(12): 2718-2730.
- [3] 李长林. 黄瓜的需肥规律和施肥技术[J]. *吉林农业*, 2002(5): 17.
- [4] WANG J J, LIU Y N, BOWDEN R D, et al. Long-term nitrogen addition alters the composition of soil-derived dissolved organic matter[J]. *ACS Earth and Space Chemistry*, 2020, 4(2): 189-201.
- [5] BUYANOVSKY G, ASLAM M, WAGNER G H. Carbon turnover in soil physical fractions[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1994, 58(4): 1167-1173.
- [6] 尤彩霞. 两种有机肥对日光温室黄瓜生育和土壤环境影响的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [7] 李子双, 贺洪军, 王薇, 等. 不同种类有机肥对日光温室黄瓜及土壤的影响[J]. *北方园艺*, 2015(18): 178-181.
- [8] 张洋, 张荣. 施用有机肥对温室黄瓜生长和品质的影响[J]. *青海大学学报*, 2018, 36(4): 54-58.
- [9] 王明文, 张洋, 胥婷婷, 等. 有机肥替代氮肥对黄瓜产量、品质及土壤质量的影响[J]. *青海大学学报*, 2022, 40(1): 49-54.
- [10] OLANIYI J O, AJIBOLA T. The effects of inorganic and organic fertilizers application on the growth, fruit yield and quality of tomato[J]. *Journal of Applied Biosciences*, 2008, 8(1): 236-242.
- [11] EHIOKHILEN K E, SAMSON U R. The effects of inorganic fertilizer on the yield of two varieties of cucumber (*Cucumis sativus* L.)[J]. *Report and Opinion*, 2010, 2(11): 1-5.
- [12] 闫秋艳, 董飞, 杨峰, 等. 土壤温度和有机肥对黄瓜生长及养分吸收利用的影响[J]. *华北农学报*, 2017, 32(6): 222-228.
- [13] 赵满兴, 王文强, 周建斌. 温度对土壤吸附有机肥中可溶性有机碳、氮的影响[J]. *土壤学报*, 2013, 50(4): 842-846.
- [14] 沈宁. Meta分析的综合评价: Meta分析及其原始研究的统计学解析和报告规范分析[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2017.
- [15] 曾宪涛, 冷卫东, 郭毅, 等. Meta分析系列之一: Meta分析的类型[J]. *中国循证心血管医学杂志*, 2012, 4(1): 3-5.
- [16] HEDGES L V, GUREVITCH J, CURTIS P S. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology[J]. *Ecology*, 1999, 80(2): 1150-1156.
- [17] 中华人民共和国农业农村部. 有机肥料: NY/T 525-2021[S]. 北京: 中国标准出版社.
- [18] 李财生, 吴月颖, 陈丽铭, 等. 不同来源有机肥释放的溶解有机质粒径分布与光谱特征[J]. *植物营养与肥料学报*, 2022, 28(6): 961-971.
- [19] 袁玉娟, 胡江, 凌宁, 等. 施用不同生物有机肥对连作黄瓜枯萎病防治效果及其机理初探[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(2): 372-379.
- [20] 季兴华, 冒维维. 黄瓜的需肥特性及施肥技术[J]. *上海蔬菜*, 2008(6): 91.
- [21] 杨立春. 几种常见蔬菜的需肥特点及施肥措施[J]. *中国果菜*, 2020, 40(5): 127-129.
- [22] 杨宏博, 刘彬, 张芬, 等. 不同类型有机肥对西南地区新菜地土壤肥力质量提升效果评价[J]. *中国土壤与肥料*, 2022, 306(10): 20-27.
- [23] 姚丽贤, 周修冲, 蔡永发, 等. 菜地土壤养分的空间变异特征[J]. *土壤通报*, 2004(5): 533-536.
- [24] 古巧珍, 杨学云, 孙本华, 等. 日光温室蔬菜地土壤主要养分含量及其累积特征分析[J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2008, 36(3): 129-134.
- [25] 田思思, 王婷芳, 唐晓丹, 等. 氮磷添加对菜地土壤肥力的影响[J]. *湖北农业科学*, 2022, 61(11): 72-75.
- [26] HE H Q, CHEN K. Methods for measuring heterogeneity in a meta-analysis[J]. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2006, 23(6): 486-487.
- [27] 彭少麟, 郑凤英. Meta分析及MetaWin软件[J]. *土壤与环境*,

- 1999(4):295-299.
- [28] 左珊珊. Meta-回归模型的统计诊断方法研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2018.
- [29] 郑凤英, 彭少麟. 整合分析中两种假设模型的介绍及实例分析[J]. 生态科学, 2004, 23(4): 292-294.
- [30] 杨玉爱. 我国有机肥料研究及展望[J]. 土壤学报, 1996(4): 414-422.
- [31] IYYEMPERUMAL K, ISRAEL D W, SHI W. Soil microbial biomass, activity and potential nitrogen mineralization in a pasture: Impact of stock camping activity[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2007, 39(1): 149-157.
- [32] 余建宁, 马国明. 大力推广沼肥综合利用[J]. 农民致富之友, 2014(24): 110.
- [33] 赵雷明. 温室连作土壤劣变下施肥对黄瓜生长发育与土壤肥力的影响特征[D]. 江苏扬州: 扬州大学, 2015.
- [34] 柯勇. 配方施肥对温室迷你黄瓜生长及养分利用的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2020.
- [35] 于淑芳, 高贤彪, 卢丽萍. 高效节能型日光温室黄瓜养分的吸收规律[J]. 中国蔬菜, 2000(5): 13-14.
- [36] 梁新书. 肥灌技术对设施土壤环境及黄瓜生长的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2015.
- [37] 关天霞, 马国泰, 马志录, 等. 连续施用鸡粪对露地黄瓜产量、品质和土壤性质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(8): 1351-1360.
- [38] 王柳, 张福垠, 魏秀菊. 不同氮肥水平对日光温室黄瓜品质和产量的影响[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 225-229.
- [39] 徐明岗. 化肥有机替代找回另一半农业[J]. 中国农村科技, 2016(2): 37-38.
- [40] ROS G H. Predicting soil N mineralization using organic matter fractions and soil properties: A re-analysis of literature data[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2012, 45: 132-135.
- [41] 周静, 史向远, 张晓晨, 等. 氮肥追施量及追施间隔对设施黄瓜生长的影响[J]. 山西农业科学, 2022, 50(8): 1111-1118.
- [42] 王柳. 京郊日光温室土壤环境特征与黄瓜优质高产相关性的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [43] 李刚, 秦东, 梁祖珍. 露地黄瓜嫁接栽培技术[J]. 上海蔬菜, 2017(2): 41.
- [44] 童小兰. 四川地区弱光对黄瓜生长发育的影响及耐弱光黄瓜材料的筛选[D]. 四川雅安: 四川农业大学, 2009.
- [45] 薛思嘉. 江苏省设施黄瓜高温热害风险区划研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2018.
- [46] 袁昌洪. 低温寡照对江苏设施黄瓜生长的影响模型及风险评价研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [47] 姚益平. 基于能耗与作物生产潜力的中国温室气候区划[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [48] 陈建军, 王正义, 陈海洋. 宁夏日光温室与塑料大棚环境对比分析[J]. 北方园艺, 2014(10): 36-39.

(上接第56页)

- 响[J]. 蔬菜, 2021(4): 19-23.
- [10] 王胤, 李锦, 张欣颖, 等. 几种新型生物药剂对黄瓜霜霉病的防治效果[J]. 蔬菜, 2021(5): 51-54.
- [11] 赵娟, 费强, 殷伯贤, 等. 种养循环对番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜, 2021(4): 53-55.
- [12] 王晓娥. 25%氟唑啉吡乙酮悬浮剂对黄瓜霜霉病的防效研究[J]. 现代农业科技, 2020(17): 95.
- [13] 吴仁锋, 陈峰, 华展义. 黄瓜霜霉病安全高效防治药剂的田间筛选[J]. 长江蔬菜, 2020(10): 70-72.
- [14] 栾炳辉, 姜法祥, 王英姿, 等. 新型杀菌剂四唑吡啶酯对黄瓜霜霉病的田间防治效果评价[J]. 农药, 2020, 59(5): 372-374.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [16] 李振高, 骆永明, 滕应. 土壤与环境微生物研究法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [17] 匡恩俊, 韩锦泽, 迟凤琴, 等. 秸秆还田深度对土壤微生物碳氮的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2016(5): 25-30.
- [18] 李合生. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [19] 闫龙翔, 阚雨晨, 陈露, 等. 化肥减施条件下生物有机肥对黄瓜生长、产量品质及抗病性的影响[J]. 上海农业学报, 2020, 36(2): 41-47.
- [20] 刘阳, 钟增明, 孙漫红, 等. 生物有机肥底施对设施黄瓜促生抑病的效果[J]. 农业研究与应用, 2021, 34(6): 63-70.
- [21] 李建欣, 葛桂民, 申爱民. 菌渣有机肥对设施土壤微生物、酶活性及黄瓜品质和产量的影响[J]. 中国瓜菜, 2022, 35(8): 57-61.
- [22] 高转琴, 王丹, 牛灵安. 冀南平原盐渍化改造区土壤过氧化氢酶活性变化研究[J]. 土壤通报, 2019, 50(6): 1434-1441.
- [23] 郑斯尹, 陈莉莎, 谢德晋. 不同氮肥用量对玉米田土壤酶活性及微生物量碳、氮的影响[J]. 中国水土保持, 2019(7): 58-60.
- [24] 王满, 卫宣志, 郭芳阳, 等. 动植物有机肥对烤烟根际土壤酶活性及微生物碳氮的影响[J]. 江西农业学报, 2017, 29(10): 63-66.
- [25] 林先贵, 胡君利. 土壤微生物多样性的科学内涵及其生态服务功能[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 892-900.
- [26] 吴建峰, 林先贵. 土壤微生物在促进植物生长方面的作用[J]. 土壤, 2003, 35(1): 18-21.
- [27] 续佳浩, 申丽霞, 杨玫. 不同施肥模式对微润灌黄瓜土壤养分及产量、品质的影响[J]. 节水灌溉, 2023(7): 104-109.
- [28] 侯建华, 孟莉蓉, 李晖, 等. 基于肥料化利用的猪发酵床垫料主要化学性状分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2017, 38(3): 104-110.
- [29] 宦海琳, 闫俊书, 周维仁, 等. 不同垫料组成对猪用发酵床细菌群落的影响[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(9): 1843-1848.
- [30] 宦海琳, 顾洪如, 张霞, 等. 养猪发酵床垫料不同时期碳氮和微生物群落结构变化研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(S1): 27-34.
- [31] 罗佳, 刘丽珠, 王同, 等. 养猪发酵床垫料有机肥对辣椒产量及土壤微生物多样性的影响[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1101-1106.