

基于整合分析的黄土高原苹果 施氮增产效应研究

赵月,胡田田,罗利华,李灿

(西北农林科技大学旱区农业水土工程教育部重点实验室,陕西 杨凌 712100)

摘要:为探讨施氮条件下黄土高原苹果增产效应的影响因素,以公开发表的试验数据为依据,采用整合分析法定量分析了施氮条件下,气候、海拔、土壤类型、树龄、栽植密度、氮肥用量对产量的影响,并对各影响因素进行了通径分析。结果表明:当年降水量小于 500 mm 时,施氮增产率为 29.83%,且随年降水量的增加其增产效应不明显;年均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 时,施氮对苹果产量的提高有积极作用,年均温 $< 10^{\circ}\text{C}$ 时增产效应不显著($P>0.05$)。在黑垆土、塬土上施氮均能有效提高苹果增产率,分别为 26.10% (95%CI: 13.08%~39.11%) (CI 为置信区间,下同)、34.53% (95%CI: 13.88%~55.19%),黄绵土上施氮增产不显著($P>0.05$)。当海拔 $< 850\text{ m}$ 时,施氮条件下苹果增产率显著提高($P<0.05$),并随着海拔的增加而降低。树龄高的果树在施氮条件下增产效应明显,当树龄 $\geq 10\text{ a}$ 时,增产率为 26.93% (95%CI: 14.64%~39.22%),并随树龄的减小而降低。在不同栽植密度下施用氮肥存在不同的增产效应,55~110 株 $\cdot 666.7\text{ m}^{-2}$ 时效果最佳,增产 28.70% (95%CI: 18.12%~39.28%)。施氮量在 0.25~0.50 $\text{kg}\cdot\text{株}^{-1}$ 时,增产效应明显($P<0.05$);施氮量 $\geq 0.50\text{ kg}\cdot\text{株}^{-1}$ 时,不存在显著的增产效应($P>0.05$)。通径分析结果表明,栽植密度、年降水量和施氮量是施氮条件下影响苹果增产率的三大主导因素,海拔次之,年均温和树龄对苹果增产效果接近但比较小。由此可见,施氮的增产效果与外界因素关系密切,综合上述各条件在适宜范围施氮更有利于苹果增产。

关键词:苹果;施氮;增产效应;整合分析法;黄土高原

中图分类号:S661.1;S143.1 **文献标志码:**A

Analysis of effect of nitrogen application on apple yield on Loess Plateau using meta-analysis

ZHAO Yue, HU Tiantian, LUO Lihua, LI Can

(Key Laboratory of Agricultural Soil and Water Engineering in Arid and Semiarid Areas,
Ministry of Education, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to explore the influencing factors of nitrogen (N) application on apple yield on the Loess Plateau, this research was based on published experimental data, and used the meta-analysis method to quantitatively analyze the influence of climate, altitude, soil type, tree age, land area per plant, N consumption on the yield with N application, and carried out path analysis on each influencing factor. The results showed that when the annual precipitation was less than 500 mm in the same year, the yield increased by 29.83%, which decreased with the increase in the annual precipitation. When the average temperature was more than or equal to 10°C , the effect of N on yield was positive, but when the average temperature was less than 10°C , the effect was not significant ($P>0.05$). Nitrogen treatment in Heilu soil and Lou soil was effective in increasing the yield by 26.1% (95%CI: 13.08%~39.11%) (CI was the confidence interval, the same below) and 34.53% (95%CI: 13.88%~55.19%), respectively, but no significant increase in loess ($P>0.05$). When the altitude was less than 850m, the yield increase rate of apple from N application was significantly increased ($P<0.05$), and the yield increased by 29.46% (95%CI: 16.98%~41.93%), and decreased with the increase in altitude. With N application, the yield increase of

the fruit trees with older tree was more obvious. When the tree was more than 10 years, the yield increase rate was 26.93% (95%CI:14.64%~39.22%), which decreased with the decrease of tree age. Application of N fertilizer in different planting densities had different yield increasing effect, and the best effect was 55~110 plant·666.7m⁻², reaching 28.70% (95%CI:18.12%~39.28%). When N application was 0.25~0.50 kg·plant⁻¹, the stimulation effect was most obvious (*P*<0.05). When N application was more than 0.50 kg·plant⁻¹, there was no significant stimulation effect (*P*>0.05). Path analysis results showed that planting density, annual precipitation and N application rate were the three major factors that affected apple yield increase under N application, followed by altitude, and the average annual temperature and the tree age had similar but little effect on apple yield increase. It can be seen that N fertilization was closely related to external factors, and a suitable range of N comprehensively combined with the above conditions was more conducive to increase production, and can also provide references for fertilization and field management in the area.

Keywords: apple tree; nitrogen application; yield increasing effect; meta-analysis; Loess Plateau

苹果在我国果业生产中占有举足轻重的地位。黄土高原(主要包括陕西、甘肃和山西)苹果产量占全国总产量的 42.7%^[1],对我国苹果产业的稳定发展意义重大^[2]。

为苹果树施加氮素是苹果增产的一项普遍措施,相关研究甚多,但主要集中于土壤氮素长期积累及分布特征^[3-4]、注射氮素^[5-6]以及结合覆膜覆草施氮^[7-8]研究等方面,由于黄土高原不同地区自然条件不同,各试验地的田间管理也存在差异,常规独立田间试验得出的推荐施肥量、相关管理方式等结果往往存在差别甚至相互矛盾,不利于施肥技术的推广和该地区的果业发展。加之近年来,黄土高原地区凭经验施肥现象严重,影响了苹果品质、产量,同时也增大了对环境的负面影响^[9-11]。因此,结合现有的研究结果,采用专业方法进行大样本数据定量分析,得出符合该地区独特条件的最佳施氮量、株行距、树龄等显得尤为重要。

整合分析是一种在同一主题下从现有的研究中整理、合并研究数据的统计分析方法^[12-13]。该方法具有能对同一课题多项研究结果一致性进行评价、对多项研究结果作系统性总结并进一步为研究指明方向等优点。目前,该方法在农业及相关领域应用研究仍处于起步阶段,特别是在黄土高原地区苹果施氮研究方面更是鲜见报道。本文基于 2019 年 11 月以前黄土高原苹果产量对氮肥响应的研究数据,通过整合分析方法定量分析施氮量、气候条件、土壤类型、树龄、田间管理措施等因素对苹果施氮增产效应的影响。在此基础上,进一步采用通径分析对这些影响因素进行分析,明晰主要影响因素,给出优化的苹果氮肥管理策略,为实现黄土高原苹果优质高效生产提供依据。

1 材料和方法

1.1 数据来源

基于中国知网、维普、万方、Web of Science、Google Scholar、Engineering Village 等中英文数据库,以“黄土高原”、“氮肥”、“苹果产量”、“Loess Plateau”、“fertilization”和“apple yield”为关键词检索 2019 年 11 月以前发表的关于施氮条件下苹果产量的文献,并对文献进行筛选。文献筛选标准为:(1)试验区域位于中国黄土高原地区;(2)试验地点、时间、土壤性质和气象条件均明确;(3)试验方法为大田试验;(4)试验处理同时包括施氮和不施氮,且其他田间条件一致;(5)试验中各处理重复次数大于 2 次;(6)文献中提供苹果产量、施氮量等数据;(7)试验地点、试验年份和种植制度一致的文献,选取处理较多、研究年限较长的文献。经以上标准严格筛选,共获得 20 篇可用文献,采集了 33 组数据。

1.2 数据分类

根据苹果增产效应的影响因素分组,主要指标包括:气候因素(年降水量、年均温)、地理因素(土壤类型、海拔高度)、树龄、田间管理措施(施氮量和栽植密度)等。年降水量以 500 mm 为界线^[14],年均温以 10℃划分^[15]。数据分类情况见表 1。

1.3 整合分析

1.3.1 标准差 计算标准差是整合分析的一个重要参数,是各研究结果的权重指标,反映其重要性的大小^[16]。在整理数据中,当文中列有产量标准差时,直接使用;当没有提供产量标准差但有多组重复试验的产量,或既未提供产量标准差也无重复试验的产量,但包含多年试验时,将多年试验结果看做平均重复,计算标准差。若文献中提供的产量数据和标准误差是以图形式表示,通过 Origin 9.0 软件

表 1 数据分类情况
Table 1 Data classification

气候因素 Climatic factor		地理因素 Geographical factor		田间管理措施 Field management measure		树龄/a Tree age
年降水量 Annual precipitation/mm	年均温 Annual average temperature/℃	土壤类型 Soil type	海拔/m Altitude	栽植密度 Planting density /(株·666.7m ⁻²)	施氮量 Amount of N /(kg·株 ⁻¹)	
<500	<10	黄绵土 Loess	<850	≤55	≤0.25	<10
≥500	≥10	黑垆土 Heilu soil	≥850	55~110	0.25~0.5	≥10
		瘠土 Lou soil		>110	0.5~0.75 >0.75	

中的 digitizer 功能进行图形数值化,将获得的标准误差换算为标准差;若原文献未提供标准差和样本个数,通过常规方法不能获得标准差,采用 MetaWin 2.1 软件的再取样(resampling tests)功能得到非加权方差^[17],获得所需的标准差。

1.3.2 效应量计算与整合 利用各研究中施氮(处理组)和不施氮(对照组)的苹果产量、产量标准差以及试验重复数计算效应量。本研究选取 lnR^[18] 为效应量:

$$E_i = \ln R_i = \ln(X_{1i}/X_{2i}) \tag{1}$$

式中, E_i 为第 i 组配对试验的效应量; R_i 为反应比; X_{1i} 为第 i 组配对试验中处理组的苹果产量(kg·株⁻¹); X_{2i} 为第 i 组配对试验中对照组的苹果产量(kg·株⁻¹), i 为对应的试验组号($i = 1, 2, 3, \cdots, k, k = 33$)。

为了使效应量更为准确,计算综合效应量 E , 公式为^[19]:

$$\begin{cases} \bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^k (W_i' \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^k W_i'} \\ W_i' = \frac{1}{V_i + D_i} \end{cases} \tag{2}$$

式中, W_i' 为第 i 组配对试验的权重; V_i 为第 i 组配对试验组内方差; D_i 为第 i 组配对试验组间方差。各个参数计算公式如下^[20]:

$$\begin{cases} D_i = \frac{\sum_{i=1}^k (W_i \cdot E_i^2) - \left(\sum_{i=1}^k (W_i \cdot E_i)\right)^2 / \sum_{i=1}^k W_i}{\sum_{i=1}^k W_i - \sum_{i=1}^k W_i^2 / \sum_{i=1}^k W_i} \\ W_i = \frac{1}{V_i} \\ V_i = \frac{S_{1i}^2}{n_{1i}X_{1i}^2} + \frac{S_{2i}^2}{n_{2i}X_{2i}^2} \end{cases} \tag{3}$$

式中, W_i 为第 i 组配对试验的权重; S_{1i} 、 S_{2i} 为第 i 组配对试验的试验组和对照组对应作物产量的样本标准差; n_i 为第 i 组配对试验的样本数。

综合效应量 $\bar{E}$ 的 95% 置信区间的下限(low

limit, LL) 和上限(upper limit, UL) 计算公式^[20] 为

$$\begin{cases} LL = \bar{E} - \frac{1.96}{\sqrt{\sum_{i=1}^k W_i'}} \\ UL = \bar{E} + \frac{1.96}{\sqrt{\sum_{i=1}^k W_i'}} \end{cases} \tag{4}$$

为了更加直观地反映施氮对苹果的产量效应,将效应量 lnR 转化为增产率 Z ^[21]:

$$Z = (\exp(\bar{E}) - 1) \times 100\% \tag{5}$$

相应的增产率 95% 置信区间(confidence interval, CI) 的下限 Z_{LL} 和上限 Z_{UL} 为:

$$\begin{cases} Z_{LL} = (\exp(LL) - 1) \times 100\% \\ Z_{UL} = (\exp(UL) - 1) \times 100\% \end{cases} \tag{6}$$

苹果增产率 95% 置信区间若全部大于 0,说明相应施氮量对苹果产量具有显著的正效应;若全部小于 0,说明相应施氮量对苹果产量具有显著的负效应;若包含 0,则说明相应施氮量对苹果产量无显著影响。

1.3.3 数据处理 采用 Excel 2010 软件建立数据库, Metawin 2.1 做 Meta 分析, Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 施氮对黄土高原苹果产量的综合效应量

施氮对苹果产量综合效应量见表 2。总体而言,施氮能显著提高苹果产量,平均增产率为 26.02% (95% $CI = 17.14\% \sim 34.90\%$)。各因素影响下的效应量极大值和极小值分别为 91.71% 和 -9.34%,异质性检验达到显著水平($P < 0.05$),故采用随机效应模型。

2.2 黄土高原苹果施氮增产效应影响因素分析

2.2.1 气候因素分析 降水量过多会降低黄土高原苹果施氮增产率,还可能会导致部分地区减产。整合结果如图 1a 所示,当年降水量 <500 mm 和 ≥500 mm 时,其施氮增产率分别为 29.83% (95% $CI = 8.00\% \sim 51.66\%$) 和 4.33% (95% $CI = -4.53\% \sim 13.20\%$),降水量高于 500 mm 时施氮增产不显著

($P>0.05$)。图 1b 表示,当年均温 $<10^{\circ}\text{C}$ 时,施氮条件下黄土高原苹果增产率为 6.26% (95% $CI = -56.25\% \sim 68.77\%$),增产效应不显著($P>0.05$);而当年均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 时,施氮增产率为 27.29% (95% $CI = 18.01\% \sim 36.57\%$),是年均温 $<10^{\circ}\text{C}$ 时的 4.36 倍,并且增产效应比较显著($P<0.05$)。可见较高的温度有助于黄土高原苹果施氮增产率的提高。

2.2.2 地理和树龄因素分析 黄土高原 70%为黄土覆盖,母质为黄土母质,该区是世界上厚度最大、范围最广的黄土分布区,经过长期地质演化,土壤类型主要分为黄绵土、黑垆土和塬土 3 种类型。由图 2a 可知,在黄绵土、黑垆土和塬土上施氮,苹果增产率分别为 13.00% (95% $CI = -1.73\% \sim 27.73\%$)、

26.10% (95% $CI = 13.08\% \sim 39.11\%$) 和 34.53% (95% $CI = 13.88\% \sim 55.19\%$),黄绵土上施氮增产效应不显著($P>0.05$)。由此可见,在塬土上施氮最有利于黄土高原苹果的增产。由图 2b 可知,当海拔 $<850\text{ m}$ 时,黄土高原苹果施氮条件下增产率为 29.46% (95% $CI = 16.98\% \sim 41.93\%$),而当海拔 $\geq 850\text{ m}$ 时,增产率为 19.14% (95% $CI = 8.16\% \sim 30.12\%$),可知海拔 $<850\text{ m}$ 区域的施氮增产效果更加明显。不同树龄的苹果树有着不同的结实、抵抗病虫害能力以及对氮素的响应特征。如图 2c 所示,施氮条件下,当树龄 $<10\text{ a}$ 时,苹果增产率为 24.61% (95% $CI = 10.08\% \sim 39.14\%$);当树龄 $\geq 10\text{ a}$ 时,增产率为 26.93% (95% $CI = 14.64\% \sim 39.22\%$)。

表 2 施氮对黄土高原苹果产量的综合效应量

Table 2 Comprehensive effects of nitrogen application on apple yield on the Loess Plateau										
样本量 Sample size	模型 Model	增产率 Yield increasing rate/%	增产率 95%置信区间 YIR 95% confidence interval				极大值 Maximum value/%	极小值 Minimum value/%	异质性检验 Heterogeneity test	
			下限 Lower limit		上限 Upper limit				<i>Q</i>	<i>P</i>
33	随机效应模型 Random effects model	26.02	17.14		34.9		91.71	-9.34	58	0.0008

注: Q 为异质性检验统计量; P 代表显著性值。
Note: Q is the statistic of heterogeneity; P is significant value.

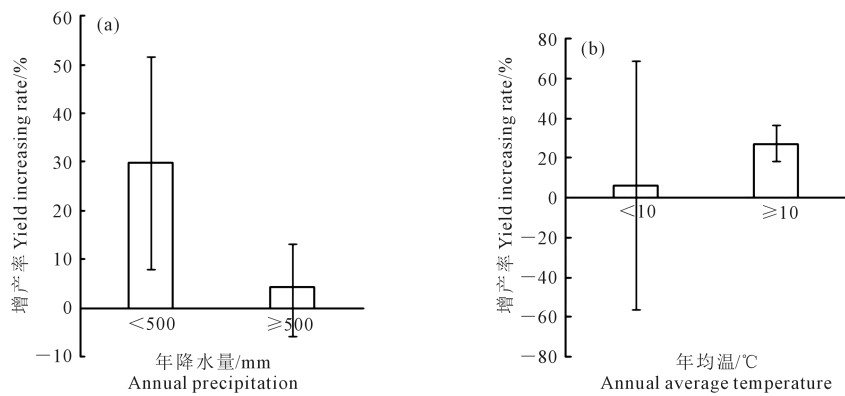


图 1 气候因素对苹果施氮增产效应的影响

Fig.1 Effects of climate factors on the effect of nitrogen application on apple yield

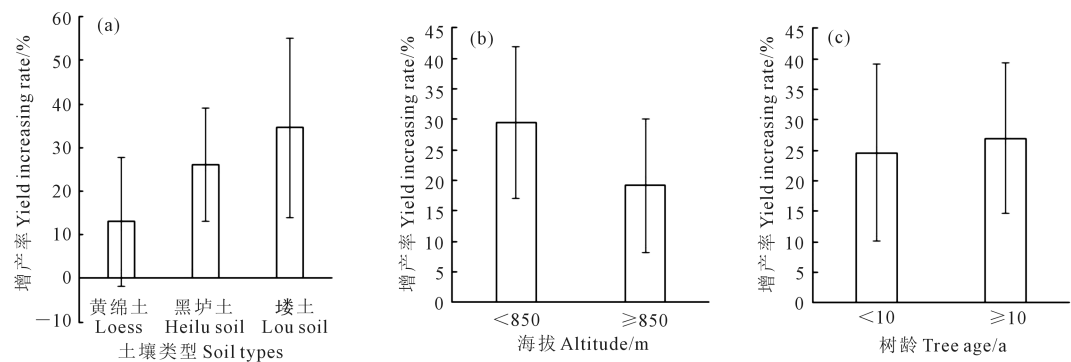


图 2 地理和树龄因素对苹果施氮增产效应的影响

Fig.2 Effects of geographical and tree age factors on the effect of nitrogen application on apple yield

2.2.3 田间管理措施因素分析 不同田间管理措施下施氮,对黄土高原苹果增产率有显著影响。栽植密度不同意味着株行距的不同。如图 3a 所示,施氮条件下,当栽植密度 ≤ 55 株 $\cdot 666.7\text{m}^{-2}$ 时,增产率为 14.36% (95%CI = -16.13% ~ 44.86%);当栽植密度为 55 ~ 110 株 $\cdot 666.7\text{m}^{-2}$ 时,增产率为 28.70% (95%CI = 18.12% ~ 39.28%);而当栽植密度 >110 株 $\cdot 666.7\text{m}^{-2}$ 时,增产率为 13.00% (95%CI = -1.73% ~ 27.73%)。可见,栽植密度介于 55 ~ 110 株 $\cdot 666.7\text{m}^{-2}$ 时最有利于当地苹果的增产。由图 3b 可知,当施氮量 ≤ 0.25 kg $\cdot$ 株 $^{-1}$ 时,增产率为 17.63 (95%CI = -0.66% ~ 35.91%);当施氮量为 0.25 ~ 0.50 kg $\cdot$ 株 $^{-1}$ 时,增产率为 24.72% (95%CI = 13.11% ~ 36.33%),并且增产效果显著 ($P<0.05$);当施氮量为 0.50 ~ 0.75 kg $\cdot$ 株 $^{-1}$ 时,增产率为 20.51% (95%CI = -0.96% ~ 41.98%);当施氮量 >0.75 kg $\cdot$ 株 $^{-1}$ 时,增产率为 12.41% (95%CI = -4.19% ~ 29.00%),增产效果不显著 ($P>0.05$)。

2.3 施氮条件下苹果增产效应影响因素的通路分析

苹果施氮增产率与年均温、树龄、栽植密度、海拔、施氮量、年降水量、土壤类型等因素有关。为分析施氮条件下引起苹果产量变化的主导因素,选年降水量(X_1)、年均温(X_2)、树龄(X_3)、栽植密度(X_4)、

海拔(X_5)及施氮量(X_6)和苹果增产率(I)等定量参数进行通路分析,以探求主导影响因素,结果见表 3。

由表 3 可知,各因素的直接影响从大到小依次为: X_4 、 X_1 、 X_6 、 X_5 、 X_2 、 X_3 。表明栽植密度、年降水量和施氮量是施氮条件下影响苹果增产率的三大主导因素,海拔次之,年均温和树龄对苹果施氮增产效果的影响接近且均比较小。间接通路系数表示各单因素通过其他因素对苹果施氮增产效应的影响程度。由表 3 可知,年均温和年降水量均通过栽植密度对苹果施氮增产的间接影响最大;海拔通过年降水量对苹果增产的间接影响最大;树龄通过栽植密度对苹果增产的间接影响最大;栽植密度通过年降水量对苹果增产的间接影响最大,施氮量通过栽植密度对苹果增产的间接影响最大。综合直接通路系数和间接通路系数可知,施氮量、栽植密度、海拔是影响苹果施氮增产的主要因素,因此,制定科学施氮方案,选择适当海拔的优生区且合理控制栽植密度有利于黄土高原苹果施氮增产效应的发挥。

3 讨论

3.1 气候因素对苹果施氮增产效应的影响

3.1.1 年降水量 施氮条件下随着年降水量的不断增加,苹果产量下降的原因可能在于,过多的降水量下再施氮会促进新梢更加旺长,使春梢争夺幼

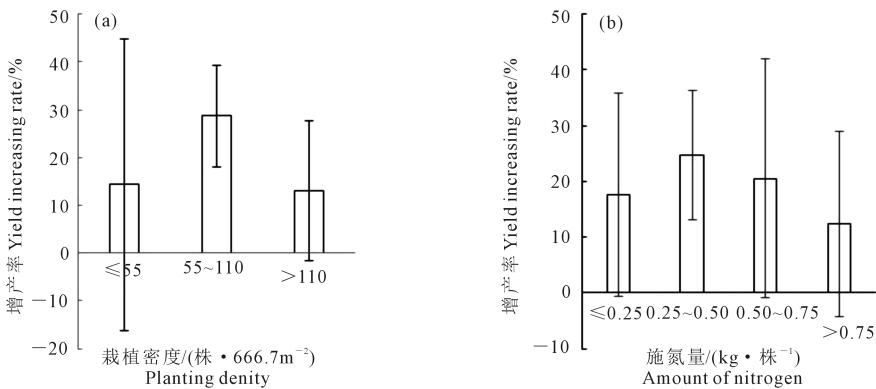


图 3 田间管理因素对苹果施氮增产效应的影响
Fig.3 Effects of field management factors on the effect of nitrogen application on apple yield

表 3 施氮条件下苹果增产效应影响因素的通路分析

Table 3 Path analysis results of influencing factors of apple yield increase under nitrogen application								
影响因素 Influencing factor	直接通路系数 Direct path coefficient	间接通路系数 Indirect path coefficient						总通路系数 Total path coefficient
		$X_1 \rightarrow I$	$X_2 \rightarrow I$	$X_3 \rightarrow I$	$X_4 \rightarrow I$	$X_5 \rightarrow I$	$X_6 \rightarrow I$	
X_1	0.345		0.006	-0.004	-0.470	0.096	0.121	0.094
X_2	0.011	0.181		-0.002	-0.328	0.212	0.088	0.162
X_3	0.006	-0.245	-0.003		0.428	-0.086	-0.061	0.039
X_4	0.673	-0.241	-0.005	0.004		-0.048	-0.124	0.259
X_5	-0.257	-0.129	-0.009	0.002	0.125		-0.013	-0.281
X_6	-0.305	-0.137	-0.003	0.001	0.273	-0.011		-0.181

注: X_1 为年降水量, X_2 为年均温, X_3 为树龄, X_4 为栽植密度, X_5 为海拔, X_6 为施氮量。
Note: $X_1 \sim X_6$ represent the annual precipitation, annual average temperature, tree age, planting density, altitude, and amount of nitrogen, respectively.

果中的水分,引起落果,降低产量^[22];还可能与供试土壤氮素肥力水平有关,降雨量高的地区,往往是苹果种植时间比较长的区域^[23],长期大量施肥导致土壤氮素肥力较高^[24],因而施氮的增产效应降低,甚至产生负效应。另外,过多降雨引起的反硝化、淋溶作用也可能会降低苹果施氮增产率^[25-26]。

3.1.2 年均温 10℃ 是喜温植物光合有机物开始积累和适宜生长的起始温度^[27],苹果是喜温植物,故年均温以 10℃ 划分,充分考虑了温度对作物生长发育的影响。温度既可以通过影响作物的生理作用直接影响植株氮浓度,也可以通过影响作物的生化过程间接对植株氮浓度产生影响^[28]。这可能是因为随着年均温的升高,土壤温度也随之升高,微生物和酶活性增强,硝化菌对能源底物的分解作用加强,促进了土壤有机质的分解,提高了土壤中有效氮含量^[29];同时,温度升高还可以促进植株对氮素的吸收,提高氮素利用效率,达到增产的效果^[30]。Chen 等^[31]研究作物营养生长阶段氮素积累量时发现,温度升高,植株的吸氮量随之增加。

3.2 地理因素对苹果施氮增产效应的影响

3.2.1 土壤类型 不同类型土壤和施氮的综合效应大小依次为塋土>黑垆土>黄绵土。产生这种趋势的主要原因可能在于,黄绵土有机质含量低,K、P 含量较多但有效性差,保水保墒能力弱,极易发生水土和养分流失;黑垆土腐殖质层厚度达 1~20 cm,腐殖含量为 0.8%~1.3%,石灰含量丰富,交换性钙占阳离子代换量 85% 以上,养分钾含量丰富, N、P 缺乏,具有较强的保水保肥能力,是黄土高原上肥力较高的土壤;塋土是褐土经长期耕作熟化,常年施用土粪发育而成,有机质含量 1%~1.5%,分布较深,可达 60~70 cm,富含钾,有机氮含量及有效磷含量较低,土体中 CaCO₃ 含量可达 9%~13%。综上所述,黑垆土和塋土有机质、钙等元素丰富而氮素缺少,因而在这两种土壤中施氮苹果增产更加明显。

3.2.2 海拔高度 黄土高原海拔相对较高,生长季昼夜温差大。海拔高度的变化对应着光、温的改变及光照强度的差异,影响了作物的光合作用,从而对产量产生影响。有研究表明,高海拔种植的作物光饱和点及光补偿点较高,低海拔种植的光饱和点及补偿点较低;CO₂ 补偿点和光呼吸速率均随海拔升高而降低;高海拔区作物光合效率值较低,低海拔区作物光合效率值较高,反映出光合效率值具有随海拔增高而降低的特性^[32]。另外,随着海拔的升高气温降低,较低的温度抑制了同化物向果实的运输及库容^[33],苹果的结实率也随之降低^[34]。因此,在施氮条件下,苹果增产效应随着海拔的升高而降低。

3.3 树龄对苹果施氮增产效应的影响

树龄是一项重要的果树性质。苹果树的干周、冠径、树冠体积、树叶密度随着树龄的增加而增加,天空可视度则随着树龄的增加而减少,树龄大的果树蒸腾速率和光合速率更强,有利于营养物质的运输与积累。同时,树龄大的果树根系发达,更有利于树体对土壤水分以及氮素的吸收利用,使水氮耦合效应更明显,这与梁海忠等^[35]、张云慧等^[36]的研究结果相同。

3.4 田间管理措施对苹果施氮增产效应的影响

3.4.1 栽植密度 施氮条件下随着栽植密度的增大,苹果产量呈现先增加后减小的趋势。栽植密度通过影响光照、通风等条件进而影响果实产量^[37-38]。林洪鑫等^[39]研究指出,栽植密度处理能调节作物群体的微气候环境,协调群体与个体的关系。合理的栽植密度既能充分发挥果树花芽生长与群体自身的调节能力,减少群体内行间、株间竞争,同时又能保证果树充分利用光能,积累较多的有机物,从而实现增产、增收的目的。

3.4.2 施氮量 氮肥是决定果树产量高低和品质优劣的重要因素,也是农业生产中使用量最大的化学肥料^[14]。由图 3b 可知,随着施氮量的增加,苹果增产效应呈现先增大后减小的趋势。这是因为,在适宜的范围内增施氮肥能发挥其功能与优势。大量研究表明,在果树需氮量范围内,增施氮肥可提高果树发芽率,有助于形成更多叶片,也能为叶片生长发育提供更加充足的养分来源^[40];增施氮肥还能提高叶片单位面积光合速率,增加叶片总光合面积,减少落花落果,有效促进花芽分化过程,提高果实座果率,实现果实高产优质^[41]。氮肥施用过量,超出作物正常生长发育所需,过量氮素会在土壤中发生转化,大部分残余氮以硝态氮形式在土壤中积累,导致短期内氮素供应失调,引起果树地上部分生长过旺,树体内碳氮比例超出正常范围,营养生长与生殖生长争夺养分,使果树生殖生长受阻,导致落花落果现象出现,同时树体抗性显著下降,果实某些生理病害的发生加重,严重影响果实产量^[42-45]。另外,氮肥过量施用还会造成氮素大量损失,降低果树氮肥利用效率^[46]。

4 结 论

施氮条件下,黄土高原苹果呈现增产效应,增产效果与地区的年降水量、年均温、海拔、树龄、栽植密度、栽植土壤类型及施氮量等因素有关。不同土壤类型上施氮对苹果的增产效果有明显差异,大小顺序为塋土>黑垆土>黄绵土。在不同栽植密度

下施氮增产效果不同,当栽植密度介于55~110株·666.7m⁻²时增产效应最佳。施氮量对黄土高原苹果增产效果有显著影响,随着施氮量的增加,苹果增产率呈现先增加后减小的趋势,最佳施氮量为0.25~0.50 kg·株⁻¹。

参考文献:

[1] 国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.

[2] 朱德兰,王文娥,楚杰.黄土高原丘陵区红富士苹果水肥耦合效应研究[J].干旱地区农业研究,2004,22(1):152-155.

[3] 范鹏,李军,张丽娜,等.黄土高原苹果园地深层土壤氮素含量与分布特征[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):420-429.

[4] 高义民,同延安,路永莉,等.长期施用氮磷钾肥对黄土高原地区苹果产量及土壤养分累积与分布的影响[J].果树学报,2012,29(3):322-327.

[5] 张林森,李雪薇,王晓琳,等.根际注射施肥对黄土高原苹果氮素吸收利用及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(2):421-430.

[6] 王博文.施肥减氮施肥和PGA增效剂在旱地苹果园的应用效果研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2016.

[7] 郭伟,王延平,韩明玉,等.起垄覆膜垄沟覆草对山地果树氮肥吸收利用的影响[J].节水灌溉,2018,(2):19-25.

[8] 李敏敏.渭北黄土高原苹果树覆盖和节水灌溉对土壤水分、果树生长和结果的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2012.

[9] 白茹,李丙智,张林森,等.陕西渭北苹果园土壤矿质氮累积与分布状况研究[J].西北林学院学报,2006,21(4):50-53.

[10] 王进鑫,张晓鹏,高保山,等.渭北旱塬矮化富士苹果幼树N、K营养状况分析[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2004,32(10):20-24.

[11] 胡道春,金龙,武瑞婵.黄土高原苹果园施肥现状调查分析[J].陕西农业科学,2017,63(11):44-49.

[12] Gurevitch J, Curtis P S, Jones M H. Meta-analysis in ecology[J]. Bulletin of the ecological society of America, 1997, 78(1): 92-94.

[13] Hedges L V, Gurevitch J, Curtis P S. The Meta-analysis of response ratios in experimental ecology[J]. Ecology, 1999, 80(4):1150-1156.

[14] 穆兴民,徐学选,陈国良.黄土高原降水量的地理地带性研究[J].水土保持通报,1992,12(4):27-32.

[15] 李飞,王春,赵军,等.中国陆地多年平均积温空间化研究[J].自然资源学报,2010,25(5):778-784.

[16] 赵爱琴,魏秀菊,朱明.基于Meta-analysis的中国马铃薯地膜覆盖产量效应分析[J].农业工程学报,2015,31(24):1-7.

[17] Bax L, Yu L M, Ikeda N, et al. A systematic comparison of software dedicated to meta-analysis of causal studies [J]. BMC Medical Research Methodology, 2007, 7(11): 1-19.

[18] 银敏华,李援农,陈朋朋,等.基于Meta-analysis的中国北方地区免耕玉米产量效应研究[J].中国农业科学, 2018,51(5):843-854.

[19] Luo Z K, Wang E L, Sun O J. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2010, 139(1-2): 224-231.

[20] Michael B, Larry V H, Julian P T H, et al. Introduction to Meta-Analysis[M]. Cornwall: A John Wiley and Sons Ltd Publication, 2009:62-79.

[21] Zheng C Y, Yu J, Chen C Q, et al. The impacts of conservation agriculture on crop yield in China depend on specific practices, crops and cropping regions[J]. The Crop Journal, 2014, 5(2):289-296.

[22] 朱德兰,吴发启.黄土高原旱地果园土壤水分管理研究[J].水土保持

研究,2004,11(1):40-42,115.

[23] 刘锦月,巩铁雄,乔江波,等.近期气候变化对黄土高原苹果产区分布格局的影响[J].水土保持研究,2020,27(3):153-158.

[24] 陈翠霞,刘占军,陈竹君,等.黄土高原新老苹果产区施肥现状及土壤肥力状况评价[J].土壤通报,2018,49(5):1144-1149.

[25] 刘潇钧,董晓华,姚着喜,等.施用量及降雨量对碳酸氢铵化肥在砂壤土中垂向迁移转化的影响[J].水电能源科学,2016,34(5):46-50.

[26] 尹燕喆.蓄水多坑灌施条件下下水对水氮运移规律的影响[D].太原:太原理工大学,2013.

[27] 刘少华,严登华,翁白莎,等.近50a中国≥10℃有效积温时空演变[J].干旱区研究,2013,30(4):689-696.

[28] Reich P, Hungate B, Luo Y. Carbon-nitrogen interactions in terrestrial ecosystems in response to rising atmospheric carbon dioxide[J]. Annual Review of Ecology Evolution & Systematics, 2006, 37: 611-636.

[29] 杨毅,黄玫,刘洪,等.土壤呼吸的温度敏感性和适应性研究进展[J].自然资源学报,2011,26(10):1811-1820.

[30] Pendall E, Bridgman S, Hanson P J, et al. Below-ground process responses to elevated CO₂ and temperature: A discussion of observations, measurement methods, and models [J]. New Phytologist, 2010, 162(2):311-22.

[31] Chen S, Zhang X, Zhao X, et al. Response of rice nitrogen physiology to high nighttime temperature during vegetative stage[J]. The Scientific World Journal, 2013, 2013(2):1-10.

[32] 李静,袁继超,蔡光泽.海拔对水稻产量和品质的影响研究进展[J].中国农学通报,2013,29(24):1-4.

[33] 李存信,林德辉.不同海拔地区种植的水稻地上部干物质生产和分配对氮素追肥的反应[J].云南植物研究,1988,10(4):403-408.

[34] 吴德成,汤华.不同海拔杂交一晚分期播种对生育性状的影响[J].江西农业科技,1988,(9):3-4.

[35] 梁海忠,范崇辉,江道伟.不同树龄苹果高纺锤形树体结构及产量的研究[J].西北林学院学报,2011,26(4):152-154.

[36] 张芸慧,李文胜,周文静,等.不同树龄的短枝“红富士”分层纺锤形对树冠结构、果实产量和品质的影响[J].北方园艺,2019,(4):45-52.

[37] 李萍,韩亚东,郝兴宇.不同穗型不同种植方式对水稻光能利用的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2004,24(2):112-115.

[38] 雷宏假,奚鼎保,严荣华.稻田整齐度的研究[J].作物学报,1963,2(2):131-146.

[39] 林洪鑫,肖运萍,袁展汽,等.水稻合理密植及其优质高产机理研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):1-4.

[40] Alboresi A, Gestin C, Leydecker M T, et al. Nitrate, a signal relieving seed dormancy in Arabidopsis[J]. Plant Cell & Environment, 2005, 28(4):500-512.

[41] 张绍玲,杨庆山,马香莲,等.苹果短枝型品种光合特性研究[J].果树科学,1991,8(3):129-134.

[42] 彭福田,姜远茂,顾曼如,等.不同负荷水平下氮素对苹果果实生长发育的影响[J].中国农业科学,2002,35(6):690-694.

[43] 闫发水,曹桂芳,张玉梅,等.燕山红苹果苦痘病防治的研究[J].河北林业科技,1998,(4):18,32.

[44] 李中勇,韩龙慧,史娟,等.高氮水平下钙对设施油桃果实生长及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2014,(4):72-75.

[45] 魏树伟,王少敏,董放,等.不同氮素形态和施氮量对‘鸭梨’果实品质的影响[J].果树学报,2016,33(S1):98-103.

[46] 李付国,孟月华,贾小红,等.供氮水平对“八月脆”桃产量、品质和叶片养分含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2006,12(6):918-921.