

# 陇东地区苹果园应用生物活性素的效应

胡化涛,费丽彬,邓明江,王 忆,许雪峰,韩振海

(中国农业大学园艺学院,北京 100193)

**摘要:**连续2 a在甘肃陇东地区苹果园进行化肥提质增效试验,研究施用生物活性素提高肥料利用效率的可行性,并探讨减施化肥对果园土壤肥力、树体生长发育和苹果产量及品质的影响。2018年在G1、G2两个试验果园设置常规施肥(CK)、常规施肥配施生物活性素(B)两个处理,并在2019年增设G3、G4试验果园,每个果园设置常规施肥(CK)、常规施肥配施生物活性素(B)、减施化肥30%配施生物活性素(RB)和减施化肥30%(R)4个处理。结果表明:2018年施用生物活性素(B)后,G1、G2果园土壤全氮含量有所下降,而叶片含氮量分别提升了11.2%、4.9%,树体的花芽量较对照组分别提高了65%、45%,果实可滴定酸含量降低,果实香气提升;减施化肥30%处理(R),降低了土壤的pH值,除G1果园外叶片氮素含量均有所上升,其中G2、G3分别提高6.9%、12.9%;在成龄树果园中可提高产量,G1、G3两果园分别提高了35.8%、40.6%,但对施肥量较少的幼龄果园会产生一定的影响;减施化肥30%配施生物活性素(RB)技术应用后,土壤全氮含量和有效磷含量除G4外均略有下降,叶片氮素含量除G2果园外分别提高了15.0%、6.4%、3.0%,且其余树体指标的表现基本优于减施化肥30%处理(R)。在陇东地区果园施用生物活性素可显著促进幼树成花成果,并提高果实香气,减施化肥后总体未对成龄树果实品质产生影响。

**关键词:**苹果;化肥减施;生物活性素;土壤养分;树体生长;产量;品质

**中图分类号:**S661.1 **文献标志码:**A

## Effects of bioactive agents on apple orchard in Eastern Gansu Area

HU Huatao, FEI Libin, DENG Mingjiang, WANG Yi, XU Xuefeng, HAN Zhenhai

(College of Horticulture, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

**Abstract:** To explore the effects of applying bioactive agents on fertilizer use efficiency, an experiment on improving the quality and efficiency of chemical fertilizer were carried out in apple orchards in eastern Gansu area for 2 years. The effects of reduced application of chemical fertilizer on orchard soil fertility, tree growth and development, apple yield and quality were studied. Two treatments of conventional fertilization (CK) and conventional fertilization combined with bioactive agents (B) were set up in G1 and G2 orchards in 2018., and G3 and G4 orchards were added in 2019. Treatments were as follows: conventional fertilization (CK), conventional fertilization combined with bioactive agents (B), 30% reduced application of chemical fertilizer combined with bioactive agents (RB), and reduced application of chemical fertilizer 30% (R). The results showed that after the application of bioactive agents (B) in 2018, the contents of soil total nitrogen and available phosphorus in G1 and G2 orchards decreased, while the nitrogen content in leaves increased by 11.2% and 4.9%. Compared with the control group, the flower bud quantity of the tree increased by 65% and 45% respectively, the titratable acid content of the fruit decreased, and the fruit aroma increased. After reducing the application of chemical fertilizer by 30% (R), the pH value of the soil was reduced, and the nitrogen content of leaves increased except G1 orchard, in which G2 and G3 increased by 6.9% and 12.9%, respectively. The yield of G1 and G3 orchards increased by 35.8% and 40.6%, respectively, but it had a different effect on the young orchards with less fertilizer application. The results of 30% reduced application of chemical fertilizer combined with bioactive fertilizer showed that the content of soil total nitro-

收稿日期:2021-09-10

修回日期:2021-12-27

基金项目:国家重点研发计划(2016YFD0201127);国家苹果产业技术体系(CARS-27)

作者简介:胡化涛(1997-),男,山东费县人,硕士研究生,研究方向为果树栽培生理。E-mail:t15142313@163.com

通信作者:韩振海(1963-),男,博士,教授,主要从事果树逆境生理与分子生物学研究。E-mail:rschan@cau.edu.cn

gen and available phosphorus decreased slightly except G4, and the leaf nitrogen content increased by 15.0%, 6.4% and 3.0% respectively except G2 orchard, and the performance of other trees was better than that of 30% reduced chemical fertilizer treatment (R). In summary, the application of bioactive agents in orchards in Longdong area significantly promoted the flowering of young trees and improve the fruit aroma. Overall, the reduced application of chemical fertilizer had no effect on the fruit quality of mature trees. Therefore, this management technology should be selectively used in this area to achieve the purpose of reducing the application of chemical fertilizer and increasing fertilizer utilization efficiency.

**Keywords:** apple; fertilizer reduction; bioactive agents; soil nutrients; tree growth; yield; quality

苹果 (*Malus domestica* Borkh.) 是世界四大水果之一,在我国多省广泛种植。经过多年发展,中国已成为世界最大的苹果生产国,苹果种植面积超 190 万公顷,2019 年苹果产量达 4 242.5 万吨,种植面积和产量均占世界 50% 以上<sup>[1]</sup>。黄土高原苹果优势产区是我国苹果四大产区之一,也是面积和产量最大的产区<sup>[2]</sup>,其中陇东地区(甘肃省东部,主要包括庆阳、平凉两市)作为全国知名的优质红富士苹果出口基地,是西北黄土高原苹果优势产业带中的新兴产区<sup>[3-4]</sup>。但该地区降水季节分配不均,水分供应是限制该地苹果生产的主要因素之一<sup>[5]</sup>,施肥时期通常降水较少,不利于树体对肥料的吸收,缺水会影响土壤营养物质的累积、矿化、吸收和转运,最终导致大部分施入的肥料无法被根系吸收,造成树体养分失衡或肥料损失<sup>[6]</sup>。另外该地区化肥施用过量的问题也较为突出,有调查显示平凉市苹果园施肥量为氮(N) 918.02 kg · hm<sup>-2</sup>、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 655.09 kg · hm<sup>-2</sup>、钾(K<sub>2</sub>O) 274.89 kg · hm<sup>-2</sup><sup>[7]</sup>,而该地区的合理施肥量为(N) 240~420 kg · hm<sup>-2</sup>、磷(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 180~330 kg · hm<sup>-2</sup>、钾(K<sub>2</sub>O) 150~375 kg · hm<sup>-2</sup><sup>[8]</sup>,氮肥和磷肥的施入均为过量状态。

20 世纪 80 年代到 21 世纪初,化肥施用对我国种植业产量的实际贡献率高达 58.91%<sup>[9]</sup>,然而如今农业已成为我国最大的面源污染产业,其中化肥的施入影响尤为严重<sup>[10]</sup>。在果园中化学肥料的不合理施用带来了严重的生态环境问题,过量的肥料使得土壤累积过多无机盐导致环境污染<sup>[11-12]</sup>,同时肥料通过径流、淋失、挥发等途径使得土壤中元素分布不均衡,影响了果树的生长并降低果实品质。鉴于此,研究者们开始探讨果园不同的施肥管理手段,并开发出绿色环保的减肥促产技术<sup>[13]</sup>。例如,果园生草可以提高果园土壤养分含量<sup>[14]</sup>、水分含量<sup>[15-16]</sup>、土壤各有机碳组分含量<sup>[17]</sup>,并改善土壤微生物群落状况,减少氮素流失<sup>[18]</sup>,从而改善土壤肥力、提高果园的产量等。同样,在苹果园的多项试

验也显示,滴灌条件下磷钾施肥配比为 7:10 (70 kg · hm<sup>-2</sup>:100 kg · hm<sup>-2</sup>) 或者采用渗灌施氮的方式施用有利于提高果实产量与品质<sup>[19-20]</sup>;施用有机肥后可以提升果实品质,连年只施用化肥的果园中果实可溶性糖含量则呈现逐年下降的现象<sup>[21]</sup>;施用生物炭基肥<sup>[22]</sup>可以通过降低土壤容重、提高有机质含量等途径提高土壤肥力,促进树体生长,同时提升了果实中可溶性糖、可溶性固形物以及维生素 C 等物质的含量,改善果实品质;减施化肥 25% 并配施生物有机肥可以提高果实糖酸比,改善果实口感<sup>[23]</sup>。合理的施肥方式和用量可以起到提质增效的作用,综合来看,在果园管理中采用减施化肥结合生草、优化施肥方案<sup>[24]</sup>、配施有机肥<sup>[25]</sup>或者施用其他土壤改良剂<sup>[26-27]</sup>等技术措施,可以增加土壤的养分含量及有效性,降低因减施化肥给果园带来的不良影响。但是在实际生产过程中,由于有机肥见效慢,分次施用化肥、配施土壤改良剂或者采用水肥一体化技术的成本过高,导致这些措施所产生的效益不明显,使得部分果农对此类技术不认可,故在生产中推广程度有限<sup>[28]</sup>。因此建立一套简便易行、不增加成本,且可以为果农实现提质增效作用的施肥管理措施十分必要。

本研究在甘肃陇东地区选取典型苹果园进行施用生物活性素与减施化肥叠加效应的研究,探讨当地苹果生产中减施化肥的可行性,期望在一定程度上解决黄土高原苹果产区氮磷化肥投入过量问题,最终为苹果减肥增效提供技术与案例支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2018—2019 年在甘肃陇东平凉市的 4 个果园进行,平凉市海拔 890~2 857 m,全年平均气温在 10℃ 左右,年降水量 450~550 mm,年均日照时数 1 981 h。G1 果园位于泾川县飞云镇(E105°68', N35°33'), G2 果园位于崆峒区草峰镇(E106°53',

N35°36′)、G3 果园位于静宁县威戎镇(E105°44′, N35°24′)、G4 果园位于静宁县威戎镇(E105°44′, N35°24′)。4 个果园所在的 3 个乡镇经纬度位置相似,经度间隔均匀,果园基本情况如表 1。

表 1 果园基本情况

Table 1 Basic information of orchard

项目 Item	G1	G2	G3	G4
株行距 Row spacing/m	3×4	2×4	3×4	2×4
树龄 Age/a	16	4	17	5
pH	7.89	8.43	7.76	7.74
全氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total nitrogen	620	930	720	820
碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Alkaline nitrogen	75.97	86.83	104.77	70.23
有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail phosphorus	179.68	6.15	1.82	7.04
速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail potassium	90.94	131.22	106.56	70.36
土壤容重/(g·cm <sup>-3</sup> ) Soil bulk density	1.26	1.65	1.57	1.51

表 2 果园施肥情况

Table 2 Fertilization in orchard

果园 Orchard	化肥种类 Types of chemical fertilizers	化肥施入量 Application amount of chemical fertilizer/(kg·667m <sup>-2</sup> )	有机肥种类 Organic fertilizer type	有机肥施入量 Application amount of organic fertilizer/(kg·667m <sup>-2</sup> )
G1	复合肥 Compound fertilizer (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:16-16-16)	420	羊粪 Sheep manure	280
G2	复合水肥一体化 Compound fertilizer with irrigation (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:30-10-10)	44	无 None	0
G3	尿素+磷酸二铵+磷酸二氢钾 Ureat+diammonium phosphate+potassium dihydrogen phosphate (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:27-32-6)	616	羊粪 Sheep manure	560
G4	复合肥 Compound fertilizer (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O:15-15-15)	249	羊粪 Sheep manure	457

注:羊粪中 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 养分含量分别为 1.31%、1.03%、2.40%<sup>[29]</sup>。

Note:The nutrient contents of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O in sheep manure were 1.31%, 1.03% and 2.40%, respectively.

### 1.3 测定指标及方法

1.3.1 土壤指标测定方法 土壤理化指标参考鲍士旦<sup>[30]</sup>土壤农化分析方法测定。测定指标包括土壤 pH 值、全氮含量、碱解氮含量、有效磷含量和速效钾含量。在每年的春季(春季施肥前)、秋季(果实收获时)各采集一次土样,用环刀按照“Z”字型取样法采集 0~30 cm 土层的土样,每个处理 3 次重复。

1.3.2 树体指标测定方法 处理后当年 11 月,幼龄树每个处理随机选取 10 株,成龄树选择所有株,用来测量株高、干周、一年生枝条长度和一年生枝芽点数,每个处理随机选取 5 株树测量全株花芽量。

### 1.2 试验设计

在每个果园中分别选取树体健壮、长势一致的富士苹果树进行试验,成龄树(G1、G3)每个处理 10 株,幼龄树(G2、G4)每个处理 25 株。2018 年分别选取成龄和幼龄各一个果园(G1 和 G2)进行试验,每个果园都设置常规施肥(CK)、常规施肥配施生物活性素(B)两个处理,探究施用生物活性素的效应。2019 年在施加生物活性素的基础上增设减施化肥处理,化肥施用总量减少 30%,有机肥施用量保持不变,4 个果园的施肥情况如表 2。在 4 个果园分别设置常规施肥(CK)、常规施肥配施生物活性素(B)、减施化肥 30%配施生物活性素(RB)和减施化肥 30%(R)4 个处理,其中 G1、G2 果园在 2018 年的基础上继续进行 CK 和 B 处理,并新增 RB 与 R 处理;同时增加 G3、G4 两个试验果园。生物活性素为本实验室开发的一类含有机苯炳环为核心的有机物、微生物和矿质元素的复配试剂,在苹果春季萌芽前于树冠外围 10 cm 处挖若干 20 cm 深的穴,施用生物活性素,每株施用 250 g。

并于 2019 年 7 月在每个处理小区随机选取代表性苹果树 3 株,在树冠周围不着果的中庸枝采集 50 片树叶作为 1 个样本,每个处理 3 次重复<sup>[31]</sup>,使用凯氏定氮仪(美国 FOSS 8400)测定叶片全氮含量。

1.3.3 果实指标测定方法 在果实成熟时记录单株结果量,并在树冠外围不同方向采集有代表性的果实,每个处理 10 次重复。果实称重并测量纵横径,邀请 15 人对果实的香气进行评分(评定标准:香气极浓郁记 3 分,香气浓郁记 2 分,香气一般记 1 分,香气轻微或无香气记 0 分)。测定果实可溶性固形物、可溶性糖、可滴定酸含量和果实硬度。可

溶性固形物含量使用日本爱拓 PAL-1 数显糖度计测定,可溶性糖含量使用蒽酮比色法测定<sup>[32]</sup>,可滴定酸含量使用酸碱中和滴定法测定,果实硬度使用 TA.XT Express Texture 果实品质分析仪测定。

#### 1.4 数据处理

所有数据用 Microsoft Office Excel 2016 进行初级统计分析,采用 SPSS Statistics 26.0 进行单因素方差分析,并用 Duncan 法进行多重比较,显著性水平为  $P < 0.05$ ,图表中数据为平均值±标准误(SE)。

## 2 结果与分析

### 2.1 苹果园施用生物活性素当年效果分析

2.1.1 施加生物活性素对果园土壤理化性质的影响 2018 年施用生物活性素后,果园土壤 pH 值未受到影响,土壤全氮、碱解氮、有效磷含量有所降低,但两处理间差异不显著(表 3)。

2.1.2 施加生物活性素对苹果树生长发育的影响

G1、G2 两个果园中施加生物活性素(B)后,株高、干周均有所升高,其中 G2 的干周显著高于对照(图 1)。而最为明显的差异体现在花芽数上,两果园的花芽量均出现了不同程度升高,较对照组分别增多 64.7%、45.4%,差异显著。这种结果对于幼龄树更为重要,幼树的早花早果可使果园提前增收。

### 2.2 苹果园减施化肥及配施生物活性素效果分析

2.2.1 不同处理对果园土壤理化性质的影响 在 2019 年试验中,在 4 个果园中分别进行了 4 个处理,如表 4 所示,施用生物活性素处理(B)后,土壤 pH 值无显著变化规律,全氮和碱解氮含量除 G3 果园外,其他各果园的各处理均低于对照组,土壤速效钾的含量无明显变化。减施化肥 30%处理(R)与减施化肥 30%配施生物活性素(RB)处理,除 G2 果园外其他各果园土壤 pH 值均出现不同程度降低,其中 G1 果园土壤 pH 值显著低于对照。结合果园的施肥状况分析,G1、G3、G4 果园施肥量过量现象严重,每年累积施肥量均在  $200 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$  以上,由此可以看出减施化肥可以减轻果园土壤的盐碱化程度。果园土壤全氮含量除 G3 外在 RB 处理后也有所降低;除 G3 外碱解氮含量均低于对照;土壤有效磷除 G3 外,各果园在 RB 处理下含量降低,而速效钾含量变化无明显规律。

2.2.2 不同处理对苹果树生长发育的影响 由图 2 可以看到,施用生物活性素后 G2 果园的干周显著升高;减施化肥 30%后,成龄树的株高和干周不受影响,而幼树株高和干周显著低于对照组,说明幼树时期减施化肥 30%会影响幼树营养生长;而配施生物活性素后可以在一定程度上降低减施化肥对树

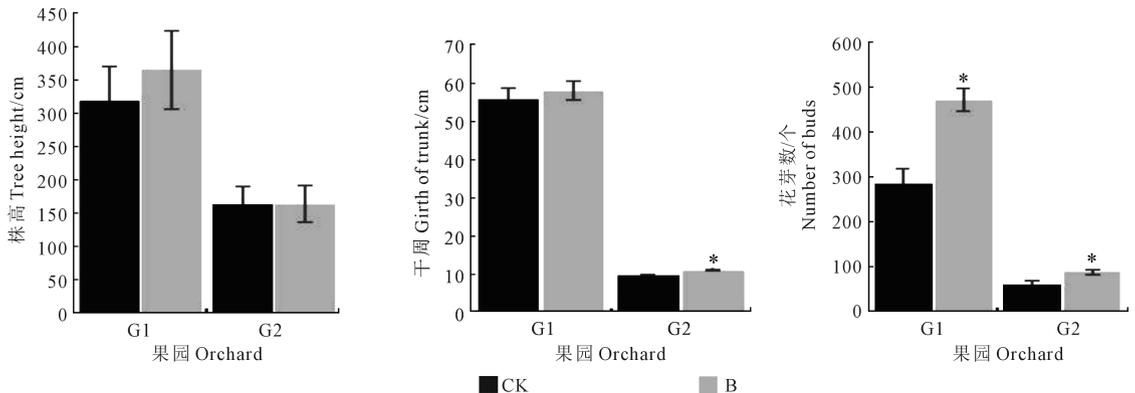
表 3 施用生物活性素对土壤理化性质的影响

Table 3 Effect of bioactive agents' application on soil physical and chemical properties

果园 Orchard	处理 Treatment	pH	全氮/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Total nitrogen	碱解氮/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Alkaline nitrogen	有效磷/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Avail. phosphorus	速效钾/( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) Avail. potassium
G1	CK	8.35±0.15a	1052.6±82.2a	134.9±7.9a	170.3±42.7a	450.0±93.9a
	B	8.47±0.02a	949.8±31.3a	100.89±4.20b	141.4±20.2a	431.4±16.8a
G2	CK	8.49±0.01a	941.5±10.7a	79.6±2.3a	10.2±0.6a	170.8±6.6a
	B	8.53±0.01a	891.5±3.7a	74.6±6.4a	8.1±0.6a	178.4±8.2a

注:同一果园两个处理的均值后不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant difference after the mean values of two treatments in the same orchard ( $P < 0.05$ ). The same below.



注:“\*”表示处理与对照之间存在显著差异( $P < 0.05$ ),下同。

Note: “\*” indicates that there are significant differences among treatments ( $P < 0.05$ ), the same below.

图 1 施用生物活性素对树体生长发育的影响

Fig.1 Effects of bioactive agents' application on tree growth and development

表 4 减施化肥与配施生物活性素对土壤理化性质的影响

Table 4 Effect of bioactive agents' application and fertilizer reduction on soil physical and chemical properties

果园 Orchard	处理 Treatment	pH	全氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total nitrogen	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Alkaline nitrogen	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail. phosphorus	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail. potassium
G1	CK	8.53±0.02a	802.4±115.0a	83.5±15.6a	32.7±11.9a	191.8±41.2a
	B	8.53±0.04a	610.6±133.8a	74.4±16.7a	20.4±9.0a	193.2±57.8a
	RB	8.35±0.07a	720.8±118.0a	75.6±11.7a	27.9±11.3a	202.5±45.0a
	R	8.35±0.02b	686.7±110.4a	66.5±14.8a	25.4±10.2a	151.6±31.0a
G2	CK	8.50±0.09a	849.2±39.6a	86.6±6.1a	10.7±1.7a	129.5±14.4a
	B	8.61±0.05a	734.8±59.8a	78.2±6.4a	10.8±2.1a	88.8±4.8a
	RB	8.66±0.03a	804.5±50.9a	79.6±7.8a	10.0±1.6a	121.9±12.2a
	R	8.63±0.03a	822.0±27.5a	83.1±6.1a	11.2±1.3a	109.4±9.5a
G3	CK	8.82±0.05a	708.9±88.0a	98.9±13.7a	52.2±10.1a	163.9±18.4a
	B	8.83±0.01a	806.0±32.7a	108.0±7.8a	63.1±8.5a	131.0±9.2a
	RB	8.81±0.07a	834.6±96.6a	99.6±11.8a	78.3±13.2a	178.8±8.9a
	R	8.75±0.04a	851.2±94.3a	97.5±7.3a	64.6±16.9a	189.7±23.9a
G4	CK	9.04±0.06a	845.0±175.0a	76.3±13.1a	14.9±6.0a	97.7±16.0a
	B	8.91±0.06a	746.3±62.2a	62.8±11.6a	8.1±3.2a	80.3±5.7a
	RB	8.87±0.01a	757.7±90.9a	63.9±11.1a	11.6±4.8a	84.4±12.1a
	R	8.87±0.03a	734.7±72.1a	60.0±10.0a	8.9±3.5a	82.8±5.5a

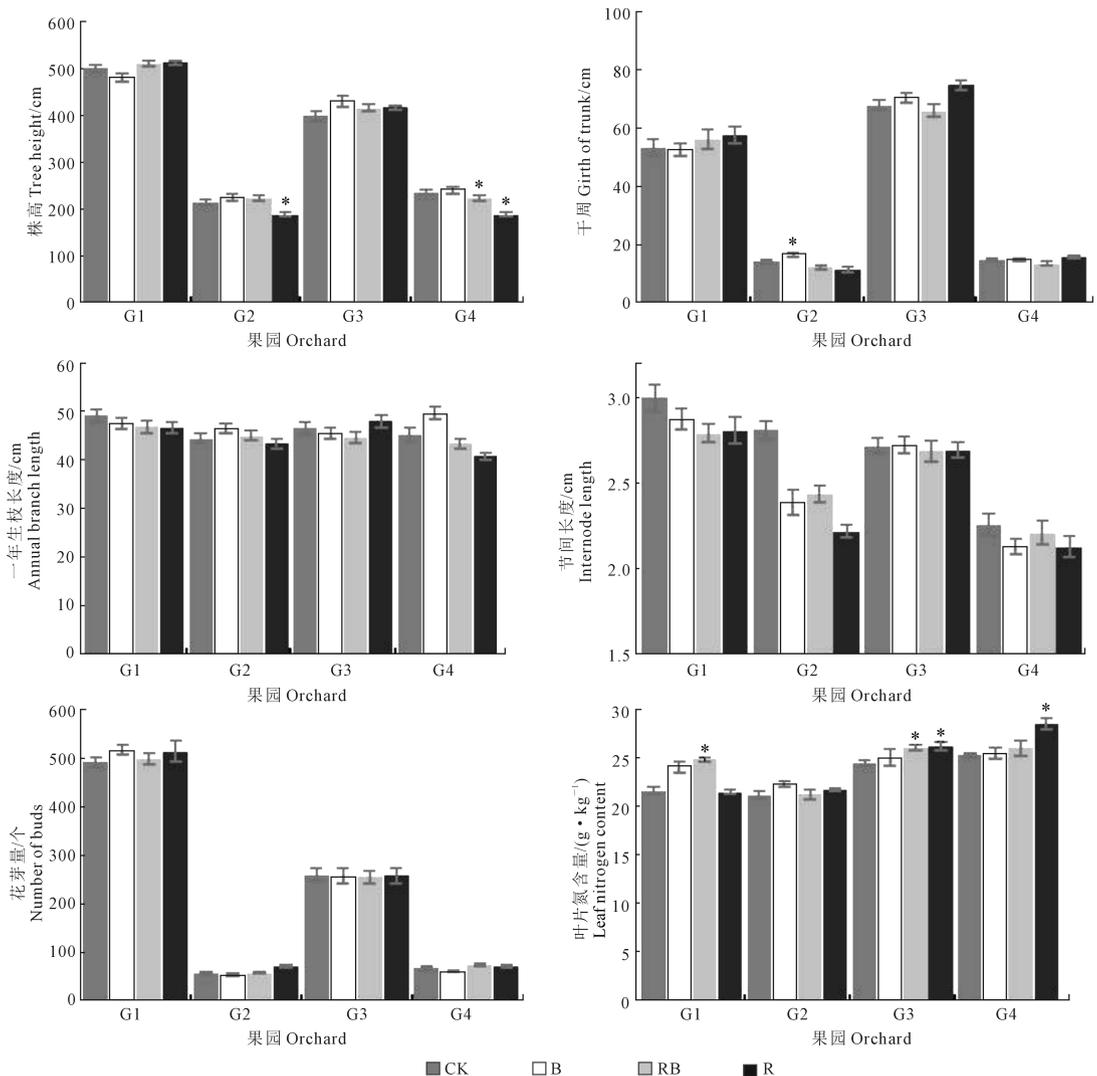


图 2 不同处理对苹果树体生长的影响

Fig.2 Effects of different treatments on the growth of apple tree

体生长的影响, RB 处理幼树的株高均高于 R 处理。减施化肥 30% 配施生物活性素后, 除 G2 果园外各果园的树体一年生枝长度和节间长度均低于对照。减施化肥后, 除 G3 果园外, 各果园树体花芽量有不

同程度增加, 在之前测定的土壤数据中 G3 果园 RB、R 处理的矿质元素含量出现上升现象, 尤其是氮素含量上升, 可能是土壤中的氮素过量导致树体徒长不利于花芽分化。施用生物活性素处理(B),

各果园的叶片氮含量均高于对照,其中 G1 叶片氮素含量较对照高 11.2%,表现为差异显著。减施化肥 30%配施生物活性素的叶片氮含量高于对照,其中 G1、G3、G4 果园表现为显著升高,分别提高了 15.0%、6.4%、3.0%,推测施用生物活性素能够促进树体对氮素的吸收。

**2.2.3 不同处理对果实品质的影响** 对 2019 年采集的果实进行分析,发现 B 和 RB 处理果实香气出现了明显提升,在 G1、G4 果园中施用生物素的果实香气显著高于对照,另外 G1、G4 果园中的 R 处理果实香气也有了一定程度上升(表 5)。减施化肥后不同树龄果实硬度呈现相反趋势,G1、G3 成龄果园的果实硬度上升,G2、G4 幼龄果园中的果实硬度下降,减施化肥配施生物活性素处理下的果实硬度普遍比减肥处理的果实硬度低。化肥减施有利于果实可溶性固形物含量的提高,提升程度在 2.2% ~

14.1%;可溶性糖和可滴定酸含量略有下降;但若施加生物活性素,则可以提高果实的可滴定酸含量。总体来看化肥施用量的减少使得果实可溶性固形物含量提高、可滴定酸含量降低,同时果实的糖酸比也有所提高,说明减施化肥能在一定程度上提高果实品质。

### 2.3 连续两年施用生物活性素的累积效应分析

在 G1、G2 果园连续两年施用了生物活性素,株高、干周变化主要体现在幼龄果园 G2 中。G2 果园 2018 年施用生物活性素后株高变化不明显,在连续两年施用后较对照提高 4.7%。在 G2 果园中 2018 年 B 处理的干周较对照组高 13.2%,在 2019 年较对照组高出 17.5%。连续施用生物活性素后只有 G1 果园促进成花效果较明显,较对照高出 5.2%。而 G3、G4 果园在 2019 年第一次施用生物活性素后,株高和干周变化不明显,与 2018 年 G1、G2 果园相同(图 3)。

表 5 施用生物活性素与减施化肥对果实品质的影响

Table 5 Effect of bioactive agents' application and fertilizer reduction on fruit quality

果园 Orchard	处理 Treatment	果形指数 Fruit shape index	果实香气 Fruit aroma	果肉硬度 Pulp hardness $/(g \cdot cm^{-2})$	可溶性固形物含量 Soluble solids content $/(g \cdot 100g^{-1})$	可溶性糖含量 Soluble sugar content $/(g \cdot 100g^{-1})$	可滴定酸含量 Titratable acid content $/(g \cdot 100g^{-1})$	糖酸比 Sugar acid ratio
G1	CK	0.80±0.06a	2.1±0.1c	366.51±29.92a	10.83±0.07a	21.06±0.23a	1.55±0.07a	13.56
	B	0.82±0.01a	2.7±0.1a	479.55±26.72a	10.73±0.26a	19.36±0.51ab	1.21±0.07c	16.00
	RB	0.86±0.01a	2.6±0.2ab	439.47±47.97a	11.33±0.24a	17.93±1.29ab	1.40±0.07bc	12.82
	R	0.86±0.01a	2.3±0.1c	427.47±47.97a	11.90±0.95a	19.54±0.70b	1.28±0.07ab	15.23
G2	CK	0.87±0.01a	1.6±0.2a	947.90±59.72a	15.00±0.47a	19.70±1.77a	1.52±0.03a	13.60
	B	0.87±0.01a	1.6±0.2a	508.77±45.70c	14.87±0.64a	19.68±0.97a	1.21±0.08a	14.00
	RB	0.86±0.01a	1.7±0.1a	540.03±38.05bc	15.80±0.06a	19.45±0.43a	1.37±0.08a	13.15
	R	0.88±0.01a	1.5±0.2a	659.22±20.15b	15.37±0.17a	19.35±0.58a	1.21±0.06a	14.24
G3	CK	0.83±0.01a	2.5±0.2a	441.13±30.63ab	13.43±0.12b	18.19±0.20ab	1.54±0.09b	11.82
	B	0.84±0.02a	2.6±0.2a	406.04±24.39b	15.03±0.71a	21.63±0.33a	1.44±0.10b	15.04
	RB	0.85±0.01a	2.6±0.2a	404.33±17.70b	14.63±0.18ab	17.76±0.98ab	1.88±0.04ab	9.43
	R	0.87±0.01a	2.6±0.2a	475.35±17.70a	15.33±0.15a	19.69±1.45b	1.54±0.09a	12.78
G4	CK	0.86±0.01b	2.3±0.1bc	524.33±34.42a	15.27±1.17a	19.63±0.63a	1.66±0.08a	11.86
	B	0.89±0.01a	2.8±0.1a	532.81±30.31a	15.90±0.06a	19.66±0.90a	1.67±0.11a	11.81
	RB	0.88±0.01ab	2.7±0.1ab	497.69±36.94a	15.27±0.95a	19.32±0.76a	1.75±0.22a	11.02
	R	0.86±0.01b	2.2±0.2c	505.94±19.75a	15.60±0.15a	16.27±2.04b	1.40±0.15a	11.63

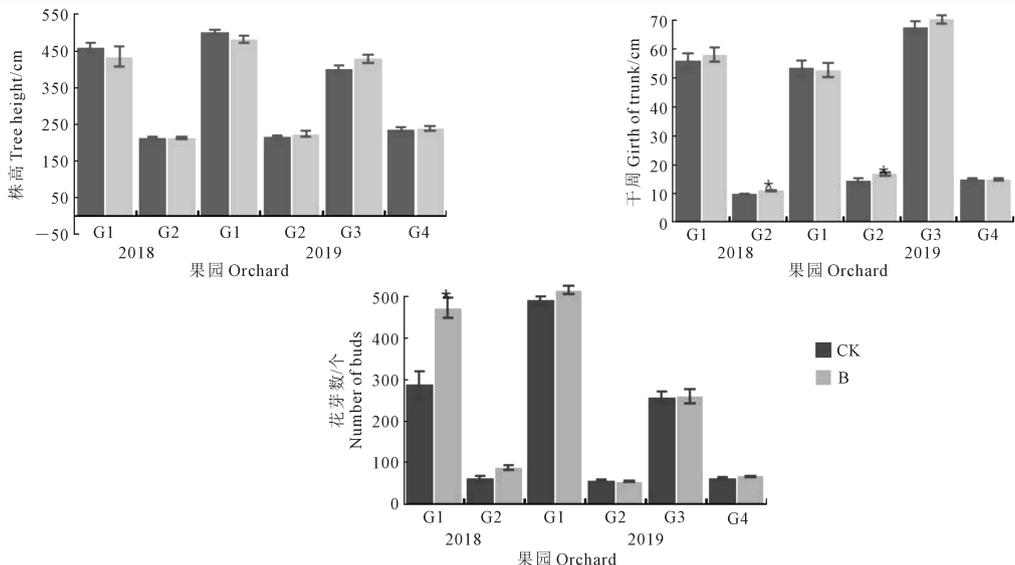


图 3 连续两年施用生物活性素对苹果树体的影响

Fig.3 Effect of bioactive agents' application on apple tree for two consecutive years

在 2018—2019 年间,与初始值相比 G1 果园的土壤全氮、碱解氮、有效磷、速效钾总体上呈下降趋势,其中全氮和碱解氮的变化规律较明显(表 6),从土壤全氮和碱解氮含量来看,对照区的全氮和碱解氮含量分别下降 23.8%、12.8%,而施用生物活性素试验区的全氮含量下降 35.7%、44.8%。G2 果园的全氮含量呈下降趋势,对照区和生物活性素处理区土壤全氮含量分别下降 9.8%、17.6%,但是土壤碱解氮含量呈上升趋势,对照和处理分别升高了 8.8%、4.8%。总体来看施用生物活性素可能提高了树体对土壤营养元素的吸收能力,增加了树体对氮素的吸收量。

#### 2.4 施用生物活性素和减施化肥的经济效益分析

施加生物活性素在 G1 果园中效果比较好,较对照增产 40.5%。减施化肥 30%和减施化肥 30%配施生物活性素处理 G1、G4 果园的产量有所增加,G1 果园产量分别提升 35.8%、26.0%,G4 果园产量

分别提升 40.5%、31.8%,可能是前几年存在化肥投入过量的问题,土壤中的营养元素含量较高,一年的减施处理对果树生长发育基本不会产生影响,甚至适度减施可以刺激树体增产,G4 果园各处理产量差异不大(表 7)。从 G2、G4 的幼龄树果园来看,施用生物活性素虽然促进了树体的生长,但是花芽量和产量出现下降现象,尤其是 G2 果园经营年限较短,且没有施用有机肥,减施化肥后产量下降较多。总的来看,在成龄树的果园减施化肥 30%不会对果园的产量造成不良影响,甚至可以达到增产的效果。

### 3 讨论与结论

近年来研究者们通过多种途径探究苹果减肥增效的技术措施,通常是通过覆盖、生草<sup>[14]</sup>、施加有机肥<sup>[24]</sup>或土壤改良剂<sup>[25]</sup>等措施改善苹果园土壤质量,增强土壤保肥能力,减少营养元素的流失,或者通过改良施肥技术<sup>[20,23]</sup>、调整施肥配比<sup>[19]</sup>等手段来

表 6 连续两年施用生物活性素对土壤理化性质的影响

Table 6 Effect of bioactive agents' application for two consecutive years on soil physical and chemical properties

时间 Time	果园 Orchard	处理 Treatment	pH	全氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Total nitrogen	碱解氮/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Alkaline nitrogen	有效磷/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail phosphorus	速效钾/(mg·kg <sup>-1</sup> ) Avail potassium
2018 年秋季 Autumn 2018	G1	CK	8.35±0.15a	1052.6±82.2a	134.9±7.9a	170.3±42.7a	450.0±93.9a
		B	8.47±0.02a	949.8±31.3a	100.89±4.20b	141.4±20.2a	431.4±16.8a
	G2	CK	8.49±0.01a	941.5±10.7a	79.6±2.3a	10.2±0.6a	170.8±6.6a
		B	8.53±0.01a	891.5±3.7a	74.6±6.4a	8.1±0.6a	178.4±8.2a
2019 年秋季 Autumn 2019	G1	CK	8.53±0.02a	802.4±115.0a	83.5±15.6a	32.7±11.9a	191.8±41.2a
		B	8.53±0.04a	610.6±133.8a	74.4±16.7a	20.4±9.0a	193.2±57.8a
	G2	CK	8.50±0.09a	849.2±39.6a	86.6±6.1a	10.7±1.7a	129.5±14.4a
		B	8.61±0.05a	734.8±59.8a	78.2±6.4a	10.8±2.1a	88.8±4.8a

表 7 不同处理对果园产量的影响

Table 7 Effects of different treatments on apple yield

果园 Orchard	处理 Treatment	单果重/g Weight of single fruit	单株产量/kg Yield per tree	产量/(kg·667m <sup>-2</sup> ) Yield	增产程度/% Yield increase
G1	CK	217.15±7.66a	70.79±2.50b	3964.35	
	B	229.14±7.03a	99.18±3.05a	5569.13	40.5
	RB	239.05±9.66a	96.10±3.00a	4994.31	35.8
	R	228.28±7.05a	89.18±2.77a	5381.49	26.0
G2	CK	202.65±5.51b	8.18±0.29a	678.97	
	B	218.01±9.91a	5.27±0.14a	437.31	-35.6
	RB	218.47±14.12a	5.85±0.38a	452.38	-28.4
	R	218.01±9.91a	5.45±0.25a	485.96	-33.4
G3	CK	266.39±4.61a	58.34±1.01a	3267.03	
	B	262.11±6.12a	58.98±1.38a	3302.64	1.1
	RB	265.63±5.90a	58.60±1.30a	3236.69	0.4
	R	258.49±5.60a	57.80±1.25a	3281.50	-0.9
G4	CK	221.88±10.88b	5.06±0.25a	419.88	
	B	209.33±9.40b	4.69±0.21a	389.19	-7.3
	RB	252.11±44.68a	7.11±0.33a	553.18	40.5
	R	241.48±9.45a	6.67±0.26a	590.08	31.8

提高肥料利用效率。也有研究者通过施用微生物菌肥<sup>[26]</sup>改良土壤微环境,促进根系的生长,以增加树体对矿质元素的吸收,本研究通过开发生物活性素施用于树体,促进树体活化,以此来增强树体对矿质元素的吸收能力,提高肥料的利用效率,进而为生产上减肥不减产奠定基础。

在生产上人们通过多种施肥措施来改善果园土壤肥力,提高果树的产量与品质。研究发现通过施用活化腐殖酸<sup>[33]</sup>、喷施沼液<sup>[34]</sup>和乙酰丙酸<sup>[35]</sup>等方式,可以改善土壤状况,提高树体蔗糖合成相关酶的活性,从而促进果树生长发育。本研究使用的生物活性素含有多种活性物质,施用后苹果树体的株高、干周、特别是花芽量均有所提升,推测是由于此类活性物质促进了树体的生长发育。生物活性素中的微生物也可以参与固氮、硝化、解磷等过程<sup>[38]</sup>以提高土壤中养分的有效性,进一步提高植物对营养元素的利用效率。本研究中施用生物活性素后提高了叶片中的氮素含量,与郭志刚等<sup>[39]</sup>研究发现施用生物菌肥可以提高苹果树体对营养元素的吸收水平的结果一致。苹果园中施用生物活性素后土壤中的氮元素(全氮与速效氮)含量明显下降,可能是由于生物活性素提高了树体对氮素的吸收能力,增加了根系对氮素的吸收。在本研究中,施用生物活性素后果园的养分变化与叶片养分的变化有协同关系,具体表现在2018年两果园试验中,土壤全氮含量分别下降了约5%~10%,而此时的叶片中氮素含量同样分别较对照增加了约5%~10%,在一定程度上说明施加生物活性素可以促进树体对氮素的吸收,这一结果与陈建明等<sup>[40]</sup>的研究结果一致。施用生物活性素后,果园土壤氮素含量下降同时土壤pH值上升,而赵晶等<sup>[41]</sup>发现土壤氮素含量下降后pH值会有所升高,试验结果与该研究一致。施用生物活性素后,微生物在果园土壤中繁殖,参与土壤中养分的循环与转化,可能通过促进根系分泌物的产生,改善土壤的微环境,从而增强了树体对土壤中营养元素的利用能力<sup>[41]</sup>。在苹果幼龄期树体的生长以营养生长为主,若缺少营养元素供应,则可能会延缓树体的正常生长<sup>[43]</sup>,所以G2果园中幼龄树减施化肥后株高、干周明显低于对照。苹果花芽量受到各种因素的影响<sup>[44-45]</sup>,生物活性素提高花芽量,可能是由于生物活性素促进了树体对各类营养元素的吸收,增强了树体的营养水平。同时果树的营养生长与生殖生长处于动态平衡,减少肥料供应影响了树体的营养生长,植物通过停止生长来减少养分消耗,并向生殖生长倾斜,

花芽量出现了增多的现象。在成龄果园中施用生物活性素可以提高果实产量,且减施化肥后产量未出现大幅下降,部分果园产量反而有所上升,这一现象与蒯佳琳等<sup>[46]</sup>研究结果一致,而G2果园均为幼龄树且施肥量少,未施用有机肥,在减施化肥后产量出现了大幅度下降,这一结果与赵佐平等<sup>[21]</sup>的发现类似。

有研究表明,某些果园在生产中会投入较多有机肥、菌肥或进行覆盖、生草<sup>[47]</sup>,随着生产年限的增加,土壤的有机碳含量<sup>[48]</sup>、团聚体状况<sup>[49]</sup>及稳定性<sup>[50]</sup>等理化性质会得到改善,化肥减施30%后使用有机肥的果园表现为增产或者无明显变化,可见减施化肥要依据果园的实际情况进行,若只单一施用化肥,减施化肥会对产量造成不良影响。通过对比株高和产量可以发现,幼树果园G2、G4中常规施肥处理的株高均低于常规施肥配施生物活性素,且减施化肥处理的株高均低于减施化肥配施生物活性素;成龄树果园G1、G2中常规施肥处理的产量均低于常规施肥配施生物活性素处理,另外减施化肥处理的产量均低于减施化肥配施生物活性素。在同一施肥水平,施用生物活性素的产量高于不施用生物活性素,因此可以推断出施用生物活性素减少了减施化肥对果树生产的不良影响。

另外,通过查询文献可知,甘肃省平均化肥投入量为 $85.58 \text{ kg} \cdot 667\text{m}^{-2}$ ,化肥投入成本为 $761.86 \text{ 元} \cdot 667\text{m}^{-2}$ <sup>[1]</sup>,则化肥平均投入成本约为 $8.90 \text{ 元} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,4个果园按照现有量减施化肥之后分别可以节约化肥成本 $1\ 121.4$ 、 $117.48$ 、 $664.83$ 、 $1\ 644.72 \text{ 元} \cdot 667\text{m}^{-2}$ 。而2019年甘肃省苹果种植面积达31.9万公顷,若在全省推广化肥减施,按照减施30%来计算,可以节省肥料投入成本约11.94亿元。

施用生物活性素可以提高苹果叶片全氮含量和果实的香气,有研究表明叶片全氮含量与果实香气、品质存在相关关系,使用生物活性素后促进树体对营养元素尤其是氮素的吸收,进而影响芳香物质的合成量,达到提升果实香气的效果。施用生物活性素降低了果实的糖酸比,这一结果与梁敬等<sup>[22]</sup>发现施用有机肥可以提高果实品质一致。而减施化肥后环境和树体发生一系列复杂的反应,其内在机理、联系,化肥氮磷钾的最佳减施配比和生物活性素对各种元素的促进吸收程度等仍需要进一步探究。

综上,在陇东地区各果园中施用生物活性素可以增强树体对氮素的吸收,增加幼树的花芽量,提高果实香气。减施化肥后未对果实品质产生较大影响,在施用有机肥为主的情况下减施化肥30%不

会对产量产生影响。因此在陇东地区苹果生产中可根据果园的管理情况,适度减少化肥的施用,以达到提质增效的目的。

### 参考文献:

- [1] 国家统计局.中国统计年鉴-2019[EB/OL].[2021-09-01].http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm.  
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook 2019[EB/OL].[2021-09-01].http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2019/indexeh.htm.
- [2] 周江涛,赵德英,陈艳辉,等.中国苹果产区变动分析[J].果树学报,2021,38(3):372-384.  
ZHOU J T, ZHAO D Y, CHEN Y H, et al. Analysis of apple producing area changes in China[J]. Journal of Fruit Science, 2021, 38(3): 372-384.
- [3] 李向东,李国梁.甘肃省苹果产业发展现状与建议[J].中国果树,2017,(1):91-95.  
LI X D, LI G L. Present situation and suggestions on the development of apple industry in Gansu Province China fruits[J]. China Fruits, 2017,(1): 91-95.
- [4] 张旭,朱珍珍,孙鲁龙,等.陇东地区不同矮化中间砧对‘长富2号’苹果抗寒性的影响[J].果树学报,2020,37(7):985-996.  
ZHANG X, ZHU Z Z, SUN L L, et al. Effects of different dwarfing interstocks on cold resistance of ‘Changfu 2’ apple in Longdong area[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(7): 985-996.
- [5] 张林森.陕西黄土高原地区苹果园分区灌溉和施钾的效应[D].杨凌:西北农林科技大学,2012.  
ZHANG L S. Effects of partial rootzone drying and potassium at apple orchards in Loess Plateau of Shaanxi Provinces[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012.
- [6] 李青华,张静,王力,等.黄土丘陵沟壑区山地苹果林土壤干化及养分变异特征[J].土壤学报,2018,55(2):503-514.  
LI Q H, ZHANG J, WANG L, et al. Desiccation and nutrient status of the soil in apple orchards in hilly-gully region of the Loess Plateau[J]. Acta Pedologica Sinica, 2018, 55(2): 503-514.
- [7] 李秉强.静宁县南部果园施肥现状及建议[J].农业科技与信息,2018,(5):71-72,76.  
LI B Q. Present situation and suggestion of fertilization in orchard in the south of Jingning County[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2018,(5): 71-72, 76.
- [8] 刘占军,祝慧,张振兴,等.我国苹果园施肥现状、土壤剖面氮磷分布特征及减肥增效技术[J].植物营养与肥料学报,2021,27(7):1294-1304.  
LIU Z J, ZHU H, ZHANG Z X, et al. Current status of fertilization, distribution of N and P in soil profiles and techniques for reducing fertilizer application and improving efficiency in China’s apple orchards[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(7): 1294-1304.
- [9] 张嘉云,李志鑫,乔志远,等.我国农田化肥施用现状[J].北方农业学报,2016,44(3):118-119,123.  
ZHANG J Y, LI Z X, QIAO Z Y, et al. The application status quo of farmland fertilizer in China[J]. Journal of Northern Agriculture, 2016, 44(3): 118-119, 123.
- [10] 康晓梅.何处是“田园净土”? 农业污染已超工业[J].生态经济,2015,31(6):6-9.  
KANG X M. Where is the “Pastoral Pure Land”? Agricultural pollution has exceeded that of industry[J]. Ecological Economy, 2015, 31(6): 6-9.
- [11] PHIRAINEN S, DOMISCH T, MOILANEN M, et al. Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests[J]. Forest Ecology and Management, 2013, 287: 53-66.
- [12] 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.  
CHEN C X, LIU Z J, CHEN J Z, et al. Evaluating the situation of fertilization and soil fertility in new and old apple orchards of the Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2018, 49(5): 1144-1149.
- [13] 王金政,毛志泉,丛佩华,等.新中国果树科学研究70年--苹果[J].果树学报,2019,36(10):1255-1263.  
WANG J Z, MAO Z Q, CONG P H, et al. Fruit scientific research in New China in the past 70 years: apple[J]. Journal of Fruit Science, 2019, 36(10): 1255-1263.
- [14] 杨露,毛云飞,胡艳丽,等.生草改善果园土壤肥力和苹果树体营养的效果[J].植物营养与肥料学报,2020,26(2):325-337.  
YANG L, MAO Y F, HU Y L, et al. Effects of orchard grass on soil fertility and apple tree nutrition[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(2): 325-337.
- [15] 白岗栓,邹超煜,杜社妮.渭北旱塬果园自然生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J].农业工程学报,2018,34(3):151-158.  
BAI G S, ZOU C Y, DU S N, et al. Effects of self-sown grass on soil moisture and tree growth in apple orchard on Weiwei dry plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(3): 151-158.
- [16] 白岗栓,郑锁林,邹超煜,等.陇东旱塬果园生草对土壤水分及苹果树生长的影响[J].草地学报,2018,26(1):173-183.  
BAI G S, ZHENG S L, ZOU C Y, et al. Influence of interplant herbage on soil moisture and apple tree growth in dry plateau of eastern Gansu[J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(1): 173-183.
- [17] 张玉岱,李同川,张道勇,等.间作白三叶对苹果/白三叶复合系统土壤总有机碳及轻组有机碳的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(4):810-818.  
ZHANG Y D, LI T C, ZHANG D Y, et al. Effects of interplanting white clover on soil total organic carbon and light organic carbon fraction in apple orchard[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, 33(4): 810-818.
- [18] 彭玲,文昭,安欣,等.果园生草对15N利用及土壤累积的影响[J].土壤学报,2015,52(4):950-956.  
PENG L, WEN Z, AN X, et al. Effects of interplanting grass on utilization, loss and accumulation of  $^{15}\text{N}$  in apple orchard[J]. Acta Pedologica Sinica, 2015, 52(4): 950-956.
- [19] 刘艳武,郭向红,杨凯,等.滴灌条件下不同磷钾肥配比对苹果品质的影响及综合评价[J].节水灌溉,2020,(6):33-37.  
LIU Y W, GUO X H, YANG K, et al. Effects of different ratios of phosphorus and potassium fertilizers on apple quality under drip irrigation and comprehensive evaluation[J]. Water Saving Irrigation, 2020,(6): 33-37.
- [20] 田歌,李慧峰,田蒙,等.不同水肥一体化方式对苹果氮素吸收利用特性及产量和品质的影响[J].应用生态学报,2020,31(6):1867-1874.  
TIAN G, LI H F, TIAN M, et al. Effects of different integration of water and fertilizer modes on the absorption and utilization of nitrogen fertilizer and fruit yield and quality of apple trees[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(6): 1867-1874.
- [21] 赵佐平,同延安,刘芬,等.长期不同施肥处理对苹果产量、品质及土壤肥力的影响[J].应用生态学报,2013,24(11):3091-3098.

- ZHAO Z P, TONG Y A, LIU F, et al. Effects of different long-term fertilization patterns on Fuji apple yield, quality, and soil fertility on Weibei dryland, Shaanxi Province of northwest China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11): 3091-3098.
- [22] 秦亚旭,王冲,郑朝霞,等.生物炭基肥对苹果产量品质及土壤肥力的影响[J].北方园艺,2020,(18):18-24.
- QIN Y X, WANG C, ZHENG Z X, et al. Effects of biochar-based fertilizer on yield and quality of apple and soil fertility[J]. Northern Horticulture, 2020,(18): 18-24.
- [23] 梁敬,李淑文,李莹莹,等.化肥减施对苹果产量、品质及果园土壤养分的影响[J].河北农业大学学报,2019,42(2):60-65,80.
- LIANG J, LI S W, LI Y Y, et al. Effect of fertilizer reduction on apple yield, quality and soil nutrient in apple orchard[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2019, 42(2): 60-65, 80.
- [24] 赵佐平,段敏,同延安.不同施肥技术对不同生态区苹果产量及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2016,34(5):158-165.
- ZHAO Z P, DUAN M, TONG Y A. Effects of different fertilizations on yield and fruit quality of Fuji apple in different ecological regions [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34(5): 158-165.
- [25] 刘恩太,尹承苗,毛志泉.有机物料发酵物对连作苹果园果实品质和产量及土壤微生物的影响[J].中国果树,2021,(1):11-15.
- LIU E T, YIN C M, MAO Z Q. Effects of organic matter fermentation fluid on fruit quality, yield and edaphon under replant conditions[J]. China Fruits, 2021,(1): 11-15.
- [26] 陈倩,李秉毓,张鑫,等.腐植酸分次施用明显提高富士苹果产量、品质和氮素利用率[J].植物营养与肥料学报,2020,26(4):757-764.
- CHEN Q, LI B Y, ZHANG X, et al. Split application of humic acid significantly improves the yield, quality and nitrogen utilization efficiency of Fuji apple[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(4): 757-764.
- [27] 冯敬涛,于天武,吴晓娟,等.微生物菌肥对苹果土壤理化特性及养分吸收的影响[J].北方园艺,2021,(2):97-102.
- FENG J T, YU T W, WU X X, et al. Effects of microbial fertilizer on the physical and chemical properties and nutrient absorption of apple soil[J]. Northern Horticulture, 2021,(2): 97-102.
- [28] 孙志华,张金水,同延安.陕西省有机肥施用调查及影响因素分析[J].安徽农业科学,2011,39(25):15295-15296,15300.
- SUN Z H, ZHANG J S, TONG Y A. Investigation on the application of organic fertilizer and analysis of influencing factors in Shaanxi Province[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(25): 15295-15296, 15300.
- [29] 李书田,刘荣乐,陕红.我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析[J].农业环境科学学报,2009,28(1):179-184.
- LI S T, LIU R L, SHAN H. Nutrient contents in main animal manures in China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(1): 179-184.
- [30] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- BAO S D. Soil and agricultural chemistry analysis [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [31] 日本作物分析法委员会.栽培植物营养诊断分析测定法[M].北京:农业出版社,1984:316-318.
- Japan Crop Analysis Law Committee. Diagnostic analysis and determination of nutrition of cultivated plants [M]. Beijing: Agricultural Press, 1984: 316-318.
- [32] 文赤夫,董爱文,李国章,等.萘酚比色法测定紫花地丁中总糖及还原糖含量[J].现代食品科技,2005,21(3):122-123,130.
- WEN C F, DONG A W, LI G Z, et al. Determination of total sugar and reducing sugar in *Viola philippicasp munda* W. Becker by an-throne colorimetry[J]. Modern Food Science & Technology, 2005, 21(3): 122-123, 130.
- [33] 张务帅,张建青,谷端银,等.腐植酸复合肥对苹果生长及土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2015,29(2):177-182.
- ZHANG W S, ZHANG J Q, GU D Y, et al. Effects of humic acid compound fertilizer on apple growth and soil fertility[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(2): 177-182.
- [34] 陈建伟,贾亮亮,赵京奇,等.喷施沼液对苹果产量品质及蔗糖代谢相关酶活性的影响[J].北方园艺,2017,(18):35-41.
- CHEN J W, JIA L L, ZHAO J Q, et al. Effect of spraying biogas slurry on apple yield, quality and sucrose metabolism enzyme activity [J]. Northern Horticulture, 2017,(18): 35-41.
- [35] 杨莉莉,张金水,李娜,等.乙酰丙酸对红富士苹果叶片生长和产量品质的影响[J].西北农业学报,2020,29(3):382-389.
- YANG L L, ZHANG J S, LI N, et al. Effect of levulinic acid on leaf growth, yield and fruit quality of red Fuji apple [J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2020, 29(3): 382-389.
- [36] BARDGETT R D, MOMMER L, DE VRIES F T. Going underground: root traits as drivers of ecosystem processes[J]. Trends in Ecology & Evolution, 2014, 29(12): 692-699.
- [37] TURNER T R, JAMES E K, POOLE P S, et al. The plant microbiome[J]. Genome Biology, 2013, 14(6): 209.
- [38] TKACZ A, POOLE P. Role of root microbiota in plant productivity [J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(8): 2167-2175.
- [39] 郭志刚,李文芳,马宗桓,等.生物菌肥和钾肥配施对苹果钾素吸收及果实品质的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(3):113-121.
- GUO Z G, LI W F, MA Z H, et al. Effects of combined biological fertilizer and potassium fertilizer on potassium absorption and fruit quality of apple[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(3): 113-121.
- [40] 陈建明,葛勋峰,沙建川,等.微生物菌肥促进苹果花脸病植株氮素吸收和果实增产[J].植物营养与肥料学报,2017,23(5):1296-1302.
- CHEN J M, GE S F, SHA J Z, et al. Microbial fertilizer increase nitrogen uptake and fruit yield of apple trees infected with Baikal disease[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2017, 23(5): 1296-1302.
- [41] 赵晶,冯文强,秦鱼生,等.不同氮磷钾肥对土壤 pH 和镉有效性的影响[J].土壤学报,2010,47(5):953-961.
- ZHAO J, FENG W Q, QIN Y S, et al. Effects of application of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers on soil pH and cadmium availability[J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(5): 953-961.
- [42] CHEN L, LI K K, SHANG J Y, et al. Plant growth-promoting bacteria improve maize growth through reshaping the rhizobacterial community in low-nitrogen and low-phosphorus soil[J]. Biology and Fertility of Soils, 2021, 57(8): 1075-1088.
- [43] 李彦连,张爱民.植物营养生长与生殖生长辩证关系解析[J].中国园艺文摘,2012,28(2):36-37.
- LI Y L, ZHANG A M. Analysis of the dialectical relationship between plant vegetative growth and reproductive growth[J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2012, 28(2): 36-37.
- [44] 李文庆,康少杰,张明月.干旱胁迫对砂糖橘树体营养的影响及其与成花的关系[J].园艺学报,2011,38(11):2085-2091.
- LI W Q, KANG S J, ZHANG M Y. Effects of drought on citrus reticulate 'Shatangju' nutrition status and its relations with flowering[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2011, 38(11): 2085-2091.
- [45] 杨盛,白牡丹,郭黄萍.环境因子与花芽分化关系研究进展[J].内蒙古农业大学学报(自然科学版),2018,39(5):97-100.

- YANG S, BAI M D, GUO H P. Research progress on the relationship between environmental factors and bud differentiation[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 39(5): 97-100.
- [46] 蒯佳琳, 马彦霞, 侯栋, 等. 稳定性肥料配施微生物菌剂对莴笋生长及品质的影响研究[J]. 干旱地区农业研究, 2021, 39(2): 24-30.
- KUAI J L, MA Y X, HOU D, et al. Study on the effects of stabilized fertilizer combined with microbial agent on growth and quality of lettuce[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(2): 24-30.
- [47] 焦润安, 张舒涵, 李毅, 等. 生草影响果树生长发育及果园环境的研究进展[J]. 果树学报, 2017, 34(12): 1610-1623.
- JIAO R A, ZHANG S H, LI Y, et al. Research progress about the effect of sod-culture on the growth and development of fruit and orchard environment[J]. Journal of Fruit Science, 2017, 34(12): 1610-1623.
- [48] 王义祥, 叶菁, 王成己, 等. 不同经营年限对柑橘果园土壤有机碳及其组分的影响[J]. 生态环境学报, 2014, 23(10): 1574-1580.
- WANG Y X, YE J, WANG C J, et al. Effect of different cultivation years on soil organic carbon pools in citrus orchards[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(10): 1574-1580.
- [49] 石宗琳, 王加旭, 梁化学, 等. 渭北不同园龄苹果园土壤团聚体状况及演变趋势研究[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 387-399.
- SHI Z L, WANG J X, LIANG H X, et al. Status and evolution of soil aggregates in apple orchards different in age in Weibei[J]. Acta Pedologica Sinica, 2017, 54(2): 387-399.
- [50] 刘文利, 吴景贵, 傅民杰, 等. 种植年限对果园土壤团聚体分布与稳定性的影响[J]. 水土保持学报, 2014, 28(1): 129-135.
- LIU W L, WU J G, FU M J, et al. Effect of different cultivation years on composition and stability of soil aggregate fractions in orchard[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(1): 129-135.
- 
- (上接第 76 页)
- [18] HOSSEINZADEH S R, AMIRI H, ISMAILI A. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicerarietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2018, 17(11): 2426-2437.
- [19] 杨洁, 单立山, 白亚梅, 等. 氮添加和降水变化对红砂生理指标的影响[J]. 干旱区研究, 2021, 38(2): 460-468.
- YANG J, SHAN L S, BAI Y M, et al. Effects of nitrogen addition and precipitation on *Reaumuriasongorica* physiological indices[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(2): 460-468.
- [20] 张松超, 张建芳, 王冀川, 等. 不同种植方式和施氮量对滴灌冬小麦生理特征及产量的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(4): 522-531.
- ZHANG S C, ZHANG J F, WANG J C, et al. Effects of different planting patterns and nitrogen applications on physiological characteristics and yield of winter wheat under drip irrigation[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2021, 30(4): 522-531.
- [21] 董道峰, 陈广侠, 马蕾, 等. 氮肥与多效唑控结合对马铃薯生理特性及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2015, 47(7): 62-67, 73.
- DONG D F, CHEN G X, MA L, et al. Effects of N fertilizer promoting and paclobutrazol controlling combination on physiological characteristics and yield of potato[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015, 47(7): 62-67, 73.
- [22] 张海星, 常生华, 贾倩民, 等. 禾豆间作与施氮对河西地区青贮玉米产量及水氮利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021, (3): 51-62.
- ZHANG H X, CHANG S H, JIA Q M, et al. Effects of maize-legume intercropping and nitrogen application on yield, water and nitrogen utilization of silage maize in Hexi area[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2021, (3): 51-62.
- [23] 曹哲, 何文寿, 侯贤清, 等. 不同施氮量对马铃薯养分吸收及产量的影响[J]. 西南农业学报, 2017, 30(7): 1600-1605.
- CAO Z, HE W S, HOU X Q, et al. Effects of nitrogen fertilizer application on nutrient absorption and yield of potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2017, 30(7): 1600-1605.
- [24] LI L, ZHANG F S, LI X L, et al. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and fababean[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2003, 65(1): 61-71.
- [25] 董茜, 郑顺林, 李国培, 等. 施氮量及追肥比例对冬马铃薯块茎品质形成的影响[J]. 西南农业学报, 2010, 23(5): 1571-1574.
- DONG Q, ZHENG S L, LI G P, et al. Effect of nitrogen level and top dressing proportion on quality of winter potato[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2010, 23(5): 1571-1574.
- [26] 石小红, 田丰, 张永成, 等. 不同施肥量和密度对马铃薯叶片叶绿素含量的影响[J]. 青海大学学报(自然科学版), 2009, 27(6): 56-60.
- SHI X H, TIAN F, ZHANG Y C, et al. Effects of different fertilizing dosage and density on chlorophyll content of potato leaves[J]. Journal of Qinghai University(Natural Science), 2009, 27(6): 56-60.
- [27] 陈自雄, 杨荣洲, 何万春. 施氮水平对水地覆膜马铃薯农艺性状和产量的影响[J]. 甘肃农业科技, 2020, (8): 68-73.
- CHEN Z X, YANG R Z, HE W C. Effects of nitrogen application level on agronomic traits and yield of water-covered potato[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2020, (8): 68-73.
- [28] 万国宏, 李高峰, 李建武, 等. 陇薯系列马铃薯品种营养品质评价及相关性分析[J]. 核农学报, 2018, 32(11): 2162-2169.
- WEN G H, LI G F, LI J W, et al. Nutrition quality evaluation and correlation analysis of Longshu potato varieties named with series[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11): 2162-2169.