

# 生物活性素对富士苹果园土壤氮素利用及苹果生长发育的影响

邓明江 费丽彬 王贺 孔令霞 王忆 许雪峰 韩振海\*

(中国农业大学 园艺学院,北京 100193)

**摘要** 为提高苹果生产中肥料利用效率以及解决大量施肥造成树体旺长、不易成花和果品品质下降的问题,本研究利用自制的生物活性素复合制剂,于2017—2019年在陕西省延安市选择正常管理下的4个不同树龄的红富士果园,采用常规施肥(对照)和增施生物活性素处理,从土壤理化性状、树体生长发育和果实品质等方面,去探究生物活性素对果园氮素利用及红富士苹果生长发育的影响。结果表明:1)经生物活性素处理后,土壤全氮含量提高4.69%~51.35%,其中幼龄树果园中提高效果更为明显;2)处理后幼龄树的花芽数量连年增加,平均增加58.42%,成花树的比例平均提高22%;3)4个参试果园中果实产量均有提高,果实香气普遍提高;4)肥料偏生产力在3个果园中平均提高11.32%,总体呈增加趋势。施用生物活性素,对幼龄树可促进早花早果,对成龄树有一定增产提质的作用。综合来看,生物活性素的施用是黄土高原地区红富士苹果高效利用肥料及高产优质生产的有效措施。

**关键词** 苹果; 生物活性素; 肥料偏生产力; 花芽数量; 果实香气

中图分类号 S661.1

文章编号 1007-4333(2021)12-0067-09

文献标志码 A

## Effect of bioactive compound on soil nitrogen utilization, growth and development of 'Fuji' Apple in orchard

DENG Mingjiang, FEI Libin, WANG He, KONG Lingxia, WANG Yi, XU Xuefeng, HAN Zhenhai\*

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

**Abstract** In order to improve the efficiency of fertilizer utilization in apple production and solve the problems of tree growth, difficult to flower and fruit quality decline, caused by large amount of fertilizer application, four Red Fuji orchards of different tree ages under normal management were selected in Yan'an City, Shaanxi Province from 2017 to 2019 by using self-made bioactive element compound formulation. Treat with conventional fertilization (control) and increased application of bioactive element, the effect of bioactive elements on the orchard nitrogen utilization and growth and development of Red Fuji apple was explored from the aspects of soil physical and chemical properties, tree growth and development, and fruit quality. The results showed that: 1) After the bioactive element treatment, the total nitrogen content of the soil increased by 4.69%~51.35%, and the improvement effect was more obvious in the young tree orchard. 2) After treatment, the number of flower buds of young trees increased year after year, with an average increase of 58.42%, and the proportion of flowering trees increased by 22%. 3) The fruit yields and aroma of the 4 participating orchards were increased. 4) The partial productivity of fertilizer in the 3 orchards increased by 11.32% on average, showing an overall increasing trend. The application of bioactive element can promote early flowering and early fruit for young trees, and increase the yield and quality of mature trees. In conclusion, the application of bioactive elements is an effective measure for the efficient use of fertilizers and high-yield and high-quality production of Red Fuji apples in the Loess Plateau.

**Keywords** apple; bioactive; fertilizer utilization; number of flower buds; fruit aroma

收稿日期: 2021-02-17

基金项目: 国家重点研发计划项目(编号 2016YFD0201127)

第一作者: 邓明江, 硕士研究生, E-mail: dengmingjiang1103@163.com

通讯作者: 韩振海, 教授, 主要从事资源利用和砧木新品种选育, E-mail: rschan@cau.edu.cn

自1992年起,中国的苹果产量一直居世界首位<sup>[1]</sup>,2018年种植面积为 $193.86 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,产量为 $3\,923.34 \times 10^4 \text{ t}$ ,分别占世界苹果种植面积和产量的37.42%和51.48%<sup>[2]</sup>。目前中国已形成两大苹果优势种植区域<sup>[3]</sup>,其中陕西省是黄土高原苹果优势生产区域中的核心产区。截至2018年,陕西省苹果种植面积为 $59.76 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,产量 $1\,008.69 \times 10^4 \text{ t}$ ,已成为中国苹果生产的第一大省<sup>[2]</sup>。

化肥对增加作物产量和改善农产品品质有着举足轻重的作用<sup>[4-5]</sup>。为了获得更多的经济产量,大量无机化肥被应用在苹果生产中,其中纯氮施用量高达 $400 \sim 600 \text{ kg/hm}^2$ ,远超苹果生产发达国家的平均水平<sup>[6-7]</sup>。在我国黄土高原苹果主产区的陕西地区,化肥过量投入现象尤其普遍<sup>[8]</sup>,以洛川县为例,氮、磷和钾肥投入过量比例依次为99.3%、98.7%和100%<sup>[9]</sup>。过量使用化肥不仅造成了资源浪费和肥料利用率下降,导致土壤酸化、板结以及危害地下水安全等环境问题,同时也可造成树体生理紊乱和生理性病害加重<sup>[10]</sup>。因此,建立因地制宜的科学施肥模式,促进肥料高效利用和苹果优质生产,事关我国苹果产业的可持续发展。

科学利用微生物类肥料、有机肥和黄腐酸类新型肥料等均可促进肥料高效利用,提高果实的产量和品质<sup>[11-14]</sup>。在洛川老龄果园中,施用微生物复混肥与氮磷钾复合肥较只施用无机化肥,果实的产量和品质均有提高<sup>[11]</sup>;山西省翼城县的红富士果园中,微生物肥料与化肥配施,可显著改善土壤理化性质,促进树体生长,提高果实产量,并且微生物肥料

与60%的常用化肥配施即可满足果树正常生长,使果园的净利润达到最大化<sup>[12]</sup>。渭北旱塬苹果园中,有机肥与化肥配施比例为4:6~6:4是较适宜的可持续施肥模式<sup>[13]</sup>。在山东地区苹果园中,常规减量施肥10%配合黄腐酸类肥料可促进苹果的生长发育,产量和肥料偏生产力分别提高18.21%和31.20%<sup>[14]</sup>。

本研究以黄土高原苹果集中连片优生区延安为试验点,利用单一变量原则,设置常规施肥(对照)和增施生物活性素2个处理,对苹果树的各个生长发育期进行监测,从而探究生物活性素对苹果产量和品质的影响,以及在提高化肥利用率方面的效应,以期达到肥料高效利用和降低种植成本的目的。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验园概况

2017—2019年在陕西省延安市宝塔区和宜川县两地,分别选取4年生矮化密植果园(SX-1、SX-2)和17年生乔化稀植果园(SX-3、SX-4)进行试验。SX-1和SX-2果园株行距为 $2 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ ,每亩83株;SX-3和SX-4果园株行距为 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ ,每亩42株。SX-1、SX-2和SX-4果园是以施用化肥为主的生产果园,SX-3果园以施用有机肥为主的生产果园。延安市位于黄土高原腹地,属温带半湿润半干旱大陆性季风气候;全年平均气温 $9.9 \text{ }^\circ\text{C}$ ,平均年降水总量 $507.7 \text{ mm}$ ,年日照时数 $2\,448.6 \text{ h}$ 。2017年春季采集4个供试果园的土壤样品并测定其理化性质,如表1所示。

表1 各试点果园土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties in the 4 test orchards

果园 Orchard	pH	全氮质量分数/ (g/kg) Total nitrogen mass fraction	碱解氮质量分数/ (mg/kg) Alkaline nitrogen mass fraction	有效磷质量分数/ (mg/kg) Available phosphorus mass fraction	速效钾质量分数/ (mg/kg) Available potassium mass fraction
SX-1	8.46	0.39	49.83	6.63	92.13
SX-2	8.40	0.52	41.77	16.57	124.08
SX-3	8.41	0.54	57.85	15.80	164.82
SX-4	8.20	0.82	84.48	18.82	155.46

### 1.2 试验设计

在每个供试果园选取30株树体健康且长势相

同的植株,15株予以常规施肥(CK),另15株在2017—2019年的每年4月上旬除常规施肥外再增

施生物活性素处理(BIO),除此之外的其它管理皆相同。生物活性素(BIO)为本研究团队开发的一类含有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,施用时间为苹果刚开始萌芽到开花前。

生物活性素的施用方式为:在垂直于树冠外围的地表处,挖长宽深均为 20 cm 的土坑,坑位于树体两侧,将生物活性素与土壤混匀后填平即可。各试验点具体处理如表 2 所示。

表 2 各试验点的具体处理方案

Table 2 Specific treatment schemes for each test point

果园 Orchard	化肥施用量/(kg/667 m <sup>2</sup> ) Chemical fertilizer application				有机肥施用量/ (kg/667 m <sup>2</sup> ) Organic fertilizer application	生物活性素施用量/ (kg/株) Bioactive application
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	总计 Total		
SX-1	11.62	8.30	5.81	25.73	20.75	
SX-2	6.64	4.98	3.32	14.94	597.00	0.25
SX-3	5.88	4.20	2.94	13.02	1 155.00	
SX-4	11.76	8.40	5.88	26.04	302.40	

注:有机肥均为羊粪,N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的质量分数依次为 0.8%、0.6%和 0.5%。

Note: The organic fertilizer is Sheep dung, and the mass fractions of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O are 0.8%, 0.6%, and 0.5% in sequence.

### 1.3 测定项目与方法

#### 1.3.1 土壤指标

2017—2019 年的每年春季,在离苹果树施肥点 5~10 cm 处,运用“Z”字形取样法,采集 0~40 cm 土层的土壤样品,每 3 份土样混合为 1 个重复,每个处理取 3 次重复。采用电位法测定土壤 pH;碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;NaHCO<sub>3</sub> 浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷含量;乙酸铵浸提-火焰光度计法测定土壤速效钾的含量和凯氏定氮法测定土壤全氮含量。2019 年春季,使用环刀法测量土壤容重<sup>[15]</sup>。

#### 1.3.2 树体指标

2018 年 4 月上旬进行施加生物活性素试验处理后,分别在 2018 年和 2019 年的 12 月,进行树体指标的采样。在对照和生物活性素处理组各任选 10 株苹果树,测定其株高和干周;各任选 5 株苹果树,统计花芽数量;各任选 3 株苹果树,每株树选择树冠外围不同方向的 10 个一年生枝,测量长度与节间个数,计算节间长度。节间长度=枝条长度/节间个数。2018—2019 年 4 月调查苹果树的开花情况,在 CK 和 BIO 各任选 10 株苹果树,每株树任选 3 个长度为 80 cm 左右的枝组统计花序数,计算每 100 cm 枝组的花序数。刚刚进入开花期的果园,统计成花树率。成花树率=成花植株/试验植株×100%。

#### 1.3.3 果实品质指标

2019 年秋季果实成熟后,在 CK 和 BIO 各任选 5 株树,统计每株树的结果总数;并采集每株树 3 个不同方向的果实各 1 个,共计 15 个果实。测量果实样品的单果重,计算单株产量;测量果实纵横径,计算果形指数;测定果实硬度、可溶性固形物含量、可溶性糖含量(蒽酮比色法)和可滴定酸含量(NaOH 中和法)。在 CK 和 BIO 中各选择 3 个果实,邀请 20 位同学对果实香气浓郁程度进行主观评价,淡(0 分)、一般(1 分)、浓(2 分)、特浓(3 分),得到果实香气评分数据<sup>[14]</sup>。

#### 1.3.4 肥料偏生产力计算方法

$$\text{肥料偏生产力 PFP(kg/kg)} =$$

$$\frac{\text{施肥后作物产量}}{\text{肥料纯养分投入量}}$$

### 1.4 数据统计

所有数据用 Excel 2010 进行数据计算和图表处理,SPSS 17.0 统计软件进行方差分析和显著性分析( $P < 0.05$  表示差异显著, $P < 0.01$  表示差异极显著)。

## 2 结果与分析

### 2.1 生物活性素对土壤理化性质的影响

2018 至 2019 年连续 2 年施用生物活性素后,各果园全氮含量的变化如图 1 所示。在 4 个试验果

园中,经生物活性素处理后的土壤全氮含量相比于对照组的土壤全氮含量均有不同程度的上升,增幅在4.69%~51.35%。与对照相比,SX-1果园增幅

为50.00%,差异显著;SX-3果园增幅为51.35%,差异显著;SX-2和SX-4果园增幅分别8.33%和4.69%,无显著差异。

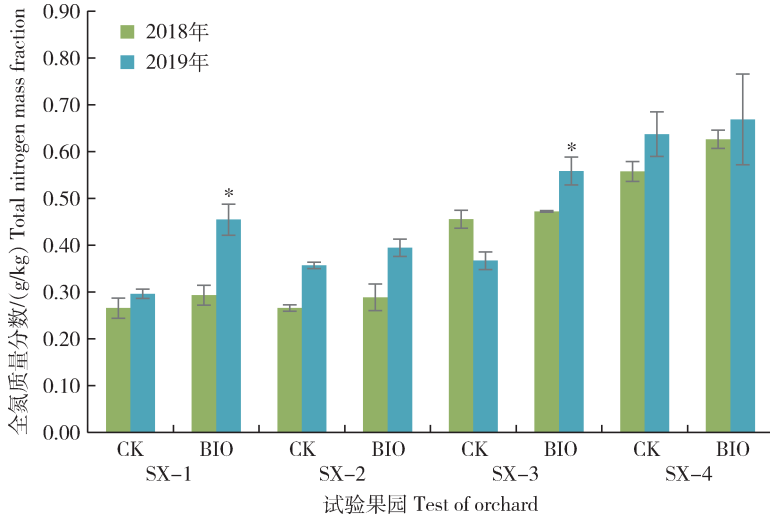


图1 生物活性素处理后土壤全氮含量变化

Fig. 1 Changes of soil total nitrogen content after bioactive element treatment

2018—2019年连续2年施用生物活性素处理后,各果园的土壤pH、土壤碱解氮含量、有效磷含量和速效钾含量均无明显的变化规律,如表3所示,均在稳定的变化区间内小幅浮动。

2019年春季对试验果园的土壤容重进行测定,

结果如图2所示。生物活性素处理后各果园容重数值均有不同程度的降低,但变化不显著,降幅在1.49%~9.02%。其中SX-3果园的土壤容重下降最多,较对照下降了9.02%,说明生物活性素有降低土壤容重的作用,有利于苹果的根系呼吸。

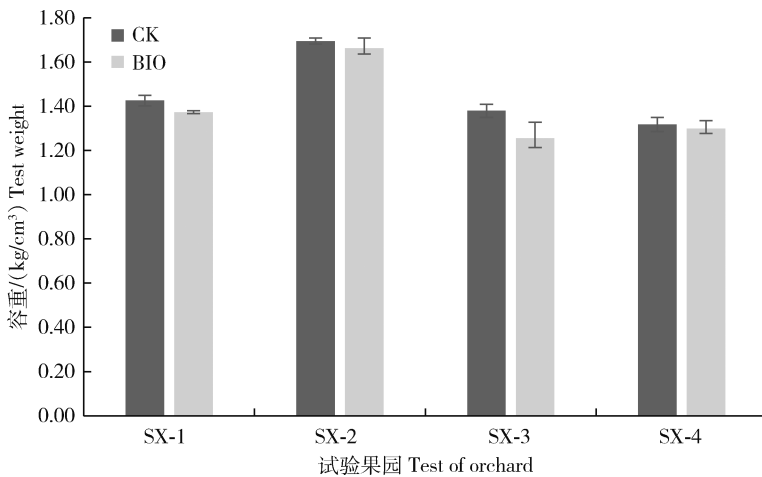


图2 生物活性素处理后土壤容重变化

Fig. 2 Changes of soil bulk density after bioactive element treatment

## 2.2 生物活性素对树木生长的影响

连续2年对试验果园施用生物活性素后树木指标的变化如表4所示。18年和19年各果园施用生物活性素后的树木株高和对照之间没有明显变化;

虽19年SX-1果园BIO的干周显著高于CK,但其它3个供试果园的干周变化基本不显著;18年和19年各果园CK与BIO之间的一年生枝条长度和节间长度也呈现出变化不大的趋势。因此,可初步说

表 3 生物活性素处理后土壤养分及 pH 的变化

Table 3 Changes of soil nutrient and pH after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	pH		碱解氮质量分数/(mg/kg) Alkaline nitrogen mass fraction		有效磷质量分数/(mg/kg) Available phosphorus mass fraction		速效钾质量分数/(mg/kg) Available potassium mass fraction	
		2018年	2019年	2018年	2019年	2018年	2019年	2018年	2019年
SX-1	CK	8.32±0.02	8.32±0.02	22.26±6.70	27.30±8.33	34.81±0.94	2.76±0.19	66.21±3.82	72.13±4.27
	BIO	8.38±0.00	8.38±0.00	18.78±1.71	21.00±0.82	37.87±0.91	1.17±0.62	70.49±2.99	48.79±4.25
SX-2	CK	8.20±0.03	8.20±0.03	24.52±6.86	7.70±1.49	81.68±3.38	2.18±0.50	105.23±11.78	54.69±2.57
	BIO	8.23±0.01	8.23±0.01	17.73±6.91	4.20±0.07	65.67±2.61	2.09±0.46	95.13±1.06	66.86±6.16
SX-3	CK	8.21±0.01	8.21±0.01	31.14±10.02	115.50±9.51	100.25±2.27	20.76±3.92	127.40±3.90	179.73±45.47
	BIO	8.16±0.01	8.16±0.01	69.10±8.65	126.12±25.85	99.05±3.78	13.27±5.52	186.80±3.86**	113.03±11.05*
SX-4	CK	7.81±0.08	7.81±0.08	85.74±2.55	31.73±7.27	101.15±2.82	0.98±0.50	99.87±4.22	111.03±7.52
	BIO	8.06±0.00	8.06±0.00	70.64±2.08*	37.05±9.30	104.72±4.50	20.30±4.95	105.57±4.99	101.73±2.15

注: \* 表示每一年对照和处理之间的差异显著  $P<0.05$ , \*\* 表示每一年对照和处理之间的差异极显著  $P<0.01$ 。下同。Note: \* means significant difference  $P<0.05$ , \*\* means extremely significant difference  $P<0.01$ . The same below.

表 4 生物活性素处理后树体指标的变化

Table 4 Changes of tree index after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	株高/cm Plant height		干周/cm Trunk circumference		一年生枝条长度/cm Annual branch length		节间长度/cm Internode length	
		2018年	2019年	2018年	2019年	2018年	2019年	2018年	2019年
SX-1	CK	262.80±5.92	345.20±11.08	16.00±0.42	15.95±0.45	52.60±3.87	49.97±1.33	2.16±0.07	2.21±0.07
	BIO	289.80±5.41*	358.90±13.99	16.10±0.56	17.27±0.35*	51.63±4.78	42.83±1.13**	2.09±0.06	2.50±0.06**
SX-2	CK	294.70±7.63	292.00±9.55	12.20±0.56	14.03±0.32	52.20±4.55	48.03±1.17	2.58±0.08	2.53±0.07
	BIO	299.50±12.43	313.10±6.70	12.00±0.24	13.27±0.35	49.50±2.86	47.13±1.19	2.22±0.52**	2.64±0.05
SX-3	CK	336.50±8.21	211.60±7.75	74.45±2.00	76.80±2.24	54.17±2.93	41.60±1.13	3.05±0.09	3.01±0.09
	BIO	342.40±8.39	240.60±3.49	71.13±0.20	74.20±2.33	54.77±4.09	41.93±1.08	2.86±0.09	2.78±0.04*
SX-4	CK	344.10±8.63	234.00±8.06	56.35±1.75	59.20±1.97	59.60±3.75	41.60±1.13	2.81±0.09	2.83±0.08
	BIO	339.20±9.52	239.40±8.88	55.40±2.70	59.50±1.63	54.70±3.77	44.37±1.20	2.85±0.06	2.79±0.05

明生物活性素的施入对树体的基本生长指标无显著影响。

果树成花能力是最终收获果实的基础。经生物活性素连续处理2年后,如表5所示,18和19年幼龄树(SX-1、SX-2)BIO的花芽数量与CK相比均存在不同程度的增加,平均升高58.42%;其中18年SX-1果园BIO的花芽数量与CK相比,表现为显著增加,2019年SX-2果园则表现为极显著增加。除

2019年SX-3果园的花序量出现下降外,其它果园BIO与CK相比,均出现了不同程度的提高。因SX-1果园刚进入挂果期,只有部分植株开花,所以统计其成花树的比例,发现SX-1果园BIO的成花树比例与CK相比有连年提高的趋势,表现为2018年、2019年分别提高10%、34%。以上研究结果说明,生物活性素促进树体成花,且在幼龄树上效果更为明显。

表5 生物活性素处理后花芽和花序变化

Table 5 Changes of flower buds and inflorescences after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	花芽/个 Flower buds			成花树比例 Flowering tree proportion	
		2017年	2018年	2019年	2018年	2019年
SX-1	CK	0.00±0.00	30.00±5.24	89.00±8.20	20%	51%
	BIO	0.20±0.20	80.20±19.83*	92.40±6.00	30%	85%
100 cm 枝组花序量 100 cm branch group inflorescence						
SX-2	CK	30.20±3.30	37.20±3.48	11.60±1.03	—	15.00±0.80
	BIO	42.80±4.62	40.40±2.34	19.80±1.62**	—	15.00±0.80
SX-3	CK	248.00±22.37	199.00±32.93	259.80±14.60	14.00±1.50	17.00±1.00
	BIO	256.00±26.20	222.80±34.38	249.60±17.68	21.00±4.80	12.00±0.60
SX-4	CK	258.60±51.51	380.00±67.04	468.80±16.69	14.00±1.30	23.00±1.10
	BIO	353.40±60.82	378.80±42.81	485.80±20.43	18.00±1.90	27.00±2.00

### 2.3 生物活性素对果实产量品质的影响

2019年试验苹果园在生物活性素处理后,果实的产量变化如表6所示。成龄树(SX-3、SX-4)BIO的单果重与CK相比没有显著变化;但幼龄树(SX-1、SX-2)BIO的单果重均有影响。SX-1果园BIO的单果重与CK相比虽下降了15.66%,但结果数量的增多使得单株产量上升;SX-2果园BIO的单果重极显著高于CK,提高了12.61%。此外,多数果园在生物活性素处理后,均可提高单产,SX-1、SX-2、SX-4分别增产8.40%、16.56%、8.95%。说明生物活性素具有增产的作用,且在幼龄树上作用的更加明显。

2019年试验苹果园在生物活性素处理后,如表7所示,果形指数、可溶性固形物含量、果肉硬度、可溶性糖含量、可滴定酸含量等无显著变化;但

生物活性素处理后可使果实香气增加,与对照相比,增幅为5.26%~46.15%,且以SX-3果园最明显。

### 2.4 生物活性素对肥料偏生产力的影响

在试验的4个果园中,生物活性素处理对肥料偏生产力的变化如表8所示,幼龄果园SX-1、SX-2和成龄果园SX-4BIO的肥料偏生产力与对照相比,分别提高12.59%、16.55%和8.95%,仅成龄果园SX-3小幅下降0.55%。分析各果园常规施肥措施,发现SX-3果园的肥料施用量最高,但肥料利用率却降低,推测与该果园主要施用有机肥(98.21%)有关;而其他3个果园的化肥施用分别占到果园肥料总施用量的66.67%(SX-1)、96.00%(SX-2)和87.80%(SX-4)。因此,生物活性素能够提高以施用化肥为主的果园肥料利用率,且在幼龄果园效果更显著。

表 6 生物活性素处理后果实产量变化

Table 6 Changes of fruit yield after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	单果重/g Single fruit weight	单株产量/kg Yield per plant	产量/(kg/667 m <sup>2</sup> ) Yield
SX-1	CK	174.67±8.31	1.22±0.06	101.48
	BIO	147.32±12.72*	1.33±0.11	110.05
SX-2	CK	291.14±5.81	17.54±0.35	1 455.90
	BIO	327.84±6.16**	20.45±0.38**	1 696.95
SX-3	CK	238.62±8.61	73.93±2.67	3 104.82
	BIO	239.48±9.35	73.52±2.87	3 087.90
SX-4	CK	268.12±6.75	123.87±3.12	5 202.61
	BIO	252.73±8.21	134.96±4.89	5 668.33

表 7 生物活性素处理后果实品质变化

Table 7 Change of fruit quality after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	果形指数 Fruit shape index	可溶性固形物 质量分数/% Soluble solids quality score	果肉硬度/ (g/cm <sup>2</sup> ) Pulp hardness	可溶性糖质量 分数/% Soluble sugar mass fraction	可滴定酸质量 分数/% Titratable acid mass fraction	果实香气 Fruit aroma
SX-1	CK	0.86±0.02	14.93±0.49	654.90±47.16	18.70±1.59	0.13±0.00	1.40±0.16
	BIO	0.86±0.01	15.00±0.49	591.78±19.35	20.85±0.78	0.13±0.01	1.50±0.17
SX-2	CK	0.87±0.01	14.70±0.46	357.48±26.92	20.86±1.06	0.11±0.01	2.20±0.13
	BIO	0.87±0.01	13.23±0.61	409.50±31.51	19.84±0.52	0.13±0.01	2.50±0.17
SX-3	CK	0.81±0.01	13.93±0.23	360.00±30.16	19.62±0.80	0.13±0.00	1.30±0.15
	BIO	0.84±0.01	12.60±0.21*	328.84±15.11	19.76±0.52	0.12±0.01	1.90±0.18*
SX-4	CK	0.90±0.02	12.23±0.34	376.81±28.06	18.37±0.63	0.13±0.01	1.90±0.23
	BIO	0.85±0.02	13.80±0.35*	359.51±23.95	18.58±1.67	0.13±0.01	2.00±0.21

表 8 生物活性素处理后果园肥料偏生产力的变化

Table 8 Changes of fertilizer utilization after bioactive element treatment

果园 Orchard	处理 Treatment	产量/(kg/667 m <sup>2</sup> ) Yield	肥料纯养分投入量/(kg/667 m <sup>2</sup> ) Pure nutrient input of chemical fertilizer	肥料偏生产力/ (kg/kg) PFP
SX-1	CK	101.48	26.12	3.89
	BIO	110.05		4.21
SX-2	CK	1 455.90	26.29	55.38
	BIO	1 696.95		64.55
SX-3	CK	3 104.82	34.35	90.39
	BIO	3 087.90		89.90
SX-4	CK	5 202.61	31.79	178.31
	BIO	5 668.33		163.66

### 3 讨论

根系分泌物在养分有效性<sup>[16]</sup>及养分循环<sup>[17]</sup>方面发挥重要作用。土壤容重的降低可使得土壤孔隙度增大,改善团粒结构,优化土壤水分及养分的运输<sup>[18]</sup>。本研究中,陕西地区红富士苹果园在施用生物活性素后,土壤全氮含量上升,土壤容重降低。这与张赛等<sup>[19]</sup>减氮及配施微生物菌剂后,果园土壤全氮含量上升的结果相似,与韦建玉等<sup>[20]</sup>增施微生物菌肥后土壤容重降低的结果一致。说明施用生物活性素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树体对土壤中营养元素的利用能力。此外,本研究施用生物活性素后果实产量显著提高,果实香气与对照相比也有一定的提高。这与张杰等<sup>[12]</sup>添加微生物肥料后可提高果实产量的结果相似,与刘洋洋等<sup>[21]</sup>施加含微生物菌剂的有机肥可提高果实香气的结果相似。说明施用生物活性素有助于土壤中养分含量的增加,能促进树体更好地吸收各种微量元素,从而提高苹果产量与品质。因此,对于果园土壤养分含量低于全国平均水平的陕西苹果产区,可适当施用生物活性素来缓解因养分不足而引起的生产问题。

植物花芽的分化受外界环境、矿质元素、碳水化合物和激素等多种因素的影响,其中植株营养是花芽分化的基础<sup>[22]</sup>。苹果枝条营养生长与花芽分化关系密切,旺盛生长会影响芽营养的积累,以至于影响花芽的生理分化过程,使成花比例降低。枝条的营养生长停止的越早,越有利于花芽生理分化期的营养积累,反之不利于花芽的分化与形成<sup>[23-24]</sup>。本研究中试验果园的果树经生物活性素施用后,树体的株高、干周、一年生枝长度和节间长度均未出现显著变化,但在幼龄果园成花数量显著增多,说明生物活性素通过促进早花进而促进早果。生物活性素有促进苹果幼树生殖生长而阻碍营养生长的作用,主要原因可能是生物活性素在适当范围内增加了树体对氮素的吸收,进而增加了花量。

### 4 结论

本研究发现经生物活性素处理后可以提高土壤全氮含量、降低土壤容重、促进幼树开花、提高果实香气和产量以及提高施用化肥为主的幼龄果园肥料利用率的作用。因此,建议当地可将施用生物活性素作为化肥减施和增产提质的一项有效措施。

### 参考文献 References

- [1] 刘英杰. 中国苹果产业经济研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005  
Liu Y J. Apple industry in China [D]. Beijing: China Agricultural University, 2005 (in Chinese)
- [2] 中华人民共和国. 中国统计年鉴 2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018  
People's Republic of China. *China Statistical Yearbook 2018* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018 (in Chinese)
- [3] 沈鹏飞, 王威雁, 李彤, 廖允成, 李亚君, 温晓霞. 陕西洛川苹果园不同覆盖措施对土壤性质、细菌群落及果实产量和品质的影响[J]. 园艺学报, 2019, 46(5): 817-831  
Shen P F, Wang W Y, Li T, Liao Y C, Li Y J, Wen X X. Effects of different mulching measures on soil properties, bacterial community, fruit yield and quality of Luochuan apple orchard in Shaanxi Province[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46(5): 817-831 (in Chinese)
- [4] Peng X X, Guo Z, Zhang Y J, Li J. Simulation of long-term yield and soil water consumption in apple orchards on the loess plateau, China, in response to fertilization [J]. *Scientific Reports*, 2017, 7: 5444
- [5] 聂胜委, 黄绍敏, 张水清, 郭斗斗, 张巧萍, 张玉亭, 宝德俊, 陈源泉. 长期定位施肥对作物效应的研究进展[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 979-987  
Nie S W, Huang S M, Zhang S Q, Guo D D, Zhang Q P, Zhang Y T, Bao D J, Chen Y Q. Advances in research on effects of long-term located fertilization on crops[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(4): 979-987 (in Chinese)
- [6] Cheng L L, Raba R. Accumulation of macro- and micronutrients and nitrogen demand-supply relationship of 'gala'/'malling 26' apple trees grown in sand culture[J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2009, 134(1): 3-13
- [7] Siddique M, Ali S, Javed A S. Macronutrient assessment in apple growing region of Punjab[J]. *Soil & Environ*, 2009, 28(2): 184-192
- [8] 刘侯俊, 巨晓棠, 同延安, 张福锁, 吕家珑. 陕西省主要果树的施肥现状及存在问题[J]. 干旱地区农业研究, 2002, 20(1): 38-44  
Liu H J, Ju X T, Tong Y A, Zhang F S, Lv J L. The status and problems of fertilization of main fruit trees in Shaanxi Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2002, 20(1): 38-44 (in Chinese)
- [9] 陈翠霞, 刘占军, 陈竹君, 霍百全, 周建斌. 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 Z J, Huo B Q, Zhou J B. 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 (in Chinese)
- [10] 王小英, 陈占飞, 胡凡, 同延安. 陕西省农田化肥投入过量与不足的研究[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(6): 159-165  
Wang X Y, Chen Z F, Hu F, Tong Y A. Study on the excessive and insufficient of chemical fertilizer inputs on farmland in Shaanxi Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(6): 159-165 (in Chinese)
- [11] 吴小杰, 田稼, 孙超, 路鹏鹏, 李飞. 微生物肥料对洛川老龄果园苹果产量及品质的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(7): 121-125  
Wu X J, Tian J, Sun C, Lu P P, Li F. Effects of microbial fertilizer on yield and quality of apple in old orchards of Luochuan[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(7): 121-125 (in Chinese)
- [12] 张杰, 马亚君, 贺志斌, 高芳芳, 张少骅, 王超然, 赵丹晨. 微生物肥料替代化肥在苹果种植中的应用效果研究[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(7): 128-135  
Zhang J, Ma Y J, He Z B, Gao F F, Zhang S H, Wang C R, Zhao D C. Application of microbial fertilizer instead of fertilizer in apple planting[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2019, 21(7): 128-135 (in Chinese)
- [13] 彭星星, 郭正, 张玉娇, 李军. 长期有机肥与化肥配施对渭北旱塬苹果园水分生产力和土壤有机碳含量影响的定量模拟[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 33-43  
Peng X X, Guo Z, Zhang Y J, Li J. Quantitative simulation of the effect of long-term organic manure and chemical fertilizer application on water productivity and soil organic carbon contents of apple orchards in Weibei Highland[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(1): 33-43 (in Chinese)
- [14] 何流, 徐新翔, 贾志航, 葛顺峰, 杨茂峰, 姜远茂. 黄腐酸类肥料在苹果上的减肥增效效果[J]. 北方园艺, 2018(18): 16-21  
He L, Xu X X, Jia Z H, Ge S F, Yang M F, Jiang Y M. Research of humic acid fertilizer on apple in fertilizer reducing and efficiency increasing [J]. *Northern Horticulture*, 2018(18): 16-21 (in Chinese)
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000  
Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*[M]. 3th ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 (in Chinese)
- [16] Mommer L, Kirkegaard J, van Ruijven J. Root-root interactions: Towards a rhizosphere framework[J]. *Trends in Plant Science*, 2016, 21(3): 209-217
- [17] Keiluweit M, Bougoure J J, Nico P S, Pett-Ridge J, Weber P K, Kleber M. Mineral protection of soil carbon counteracted by root exudates[J]. *Nature Climate Change*, 2015, 5(6): 588-595
- [18] 方凯凯. 苹果园地表覆盖对果树季节性耗水与产量的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017  
Fang K K. Effects of apple orchard surface mulching on seasonal water consumption and yield of fruit trees [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2017 (in Chinese)
- [19] 张赛, 陈杭, 胡朝华, 袁照年. 减氮配施生物炭调理剂对甘蔗苗生长和土壤养分的影响[J]. 农业与技术 2021, 41(4): 21-23  
Zhang S, Chen H, Hu C H, Yuan Z N. The effect of reducing nitrogen and applying biochar conditioner on sugarcane seedling growth and soil nutrients [J]. *Agriculture and Technology*, 2021, 41(4): 21-23 (in Chinese)
- [20] 韦建玉, 王政, 黄崇峻, 敖金成, 杨晓斌. 增施微生物菌肥对植烟土壤理化性质及微生物量的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(11): 57-61  
Wei J Y, Wang Z, Huang C J, Ao J C, Yang X B. The effect of adding microbial fertilizer on the physical and chemical properties and microbial biomass of tobacco-growing soil[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2018, 46(11): 57-61 (in Chinese)
- [21] 刘洋洋, 束怀瑞, 陈伟. 混施微生物菌剂和有机肥对‘新红星’苹果解袋后果实品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(1): 169-179  
Liu Y Y, Shu H R, Chen W. Effects of mixed application of microbial agents and organic fertilizers on the fruit quality of ‘Xinhongxing’ apple after unbagging[J]. *Soils and Fertilizers in China*, 2021(1): 169-179 (in Chinese)
- [22] 成雪峰. 植物的花及影响花芽分化的环境因素[J]. 生物学教学, 2013, 38(7): 8-10  
Cheng X F. Plant flowers and environmental factors affecting flower bud differentiation [J]. *Biology Teaching*, 2013, 38(7): 8-10 (in Chinese)
- [23] 韩明玉, 李永武, 范崇辉, 赵彩萍. 拉枝角度对富士苹果树生理特性和果实品质的影响[J]. 园艺学报, 2008, 35(9): 1345-1350  
Han M Y, Li Y W, Fan C H, Zhao C P. Effects of branch bending angle on physiological characteristics and fruit quality of Fuji apple[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, 35(9): 1345-1350 (in Chinese)
- [24] Xing L B, Zhang D, Li Y M, Shen Y W, Zhao C P, Ma J J, An N, Han M Y. Transcription profiles reveal sugar and hormone signaling pathways mediating flower induction in apple (*Malus domestica* borkh) [J]. *Plant and Cell Physiology*, 2015, 56(10): 2052-2068