

不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮与土壤和植株养分的关系

宋伞伞^{1,2}, 郑强卿³, 姚永生¹, 陈奇凌³, 王晶晶³,
王远¹, 郑森宇¹, 唐梦¹, 支金虎^{1,2}

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 新疆绿洲农业资源与环境研究中心, 新疆阿拉尔 843300;

3. 新疆农垦科学院林园所, 新疆石河子 832000)

摘要:【目的】研究不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮与不同时期枣园土壤和植株养分的关系, 为南疆红枣高产提供土壤管理的理论依据。【方法】选取南疆高中低3种不同产量水平的枣园为研究对象, 采用田间试验, 研究不同时期不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮与不同土层和植株氮、磷、钾养分含量之间的关系。【结果】土壤碱解氮、速效磷含量随着土壤深度的增加逐渐降低, 而速效钾含量逐渐升高。土壤微生物量碳(MBC)和土壤微生物量氮(MBD)含量之间呈极显著正相关, 相关系数为0.8367; 土壤微生物量碳与骏枣展叶期0~20 cm土层速效钾含量呈显著正相关, 与果实膨大期20~40 cm土层速效钾含量呈显著正相关关系。【结论】枣园土壤微生物量碳、氮及各养分含量均保持在良好水平, 土壤养分及植株养分能对微生物量碳、氮产生显著影响。

关键词:微生物量碳; 微生物量氮; 土壤养分; 植株产量

中图分类号: S1451·9⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1001-4330(2020)10-1878-14

0 引言

【研究意义】土壤微生物生物量是土壤有效养分的源与库^[1], 土壤微生物量碳、氮是土壤微生物生物量的主要组成部分。土壤微生物量碳、氮与土壤中各种营养物质的循环息息相关, 其在土壤肥力和植物各种养分中具有重要的作用, 且被视为土壤肥力变化的重要指标之一^[2-4]。研究土壤微生物量碳、氮可有助于更好的认识和分析各种养分之间的关系, 并应用于实际生产。【前人研究进展】浅层土壤微生物量碳和微生物量氮较高, 而随深度增加其含量会降低^[5]。刘宝等^[6]也得到了类似的结果, 而且不同土层微生物量碳、氮还具有明显的季节变化特点, 即使在全球大尺

度来看, 微生物量碳、氮也会随纬度增加而增加^[7]。这与土壤有机碳、全氮含量及土壤温度都具有密切关系, 微生物量也会随土壤温度、水分含量和基质有效性的季节性模式而变化^[8,9], 秸秆还田能够增加土壤活性有机碳、氮含量, 而过量施用氮肥却能够使土壤活性有机碳、氮含量降低, 配施氮肥后, 土壤有机碳、全氮含量及碳氮比都会发生显著变化^[10,11,12]。在还田的过程中, 覆盖材料会影响土壤微生物量碳、氮的含量, 秸秆覆盖后的影响度要显著高于地膜覆盖, 均比裸地时要高^[13], 高寒退化土地比温热易耕土地来讲, 氮对微生物量碳、氮的影响就小的多^[14]。有机肥施用和土地利用方式也是显著影响土壤微生物特性的重要因素。NPK化肥配施猪粪及秸秆还田后都

收稿日期(Received): 2019-12-27

基金项目: 兵团师域发展创新支持计划“骏枣品质高效调控关键技术研发与应用”(2017BA040); 国家重点研发计划(2017YFC0504300、2017YFD0201900)

作者简介: 宋伞伞(1995-), 女, 河南人, 硕士研究生, 研究方向为施肥与农业环境, (E-mail) Sss_tarim@163.com

通信作者: 支金虎(1978-), 男, 甘肃张掖人, 教授, 硕士生导师, 研究方向为植物营养与土壤管理, (E-mail) zjhzy@163.com

能显著增加土壤全氮、有机质含量、C/N 值及微生物量碳、氮含量^[15]。安世花等^[16]通过长期定位试验,提出不论有机无机肥配施还是单施有机肥,对土壤对微生物量碳、氮含量均有提高作用,而且在水田上的效果更为显著。郭振等^[17]在黄壤稻田土上的试验也得到了相同的结论。【本研究切入点】长期施肥对土壤微生物量碳、氮含量的研究较多,但在极端干旱区的塔里木盆地,尤其是枣园土壤微生物量碳、氮及其与养分变化之间的关系方面的研究,目前还鲜见报道。研究不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮与土壤和植株养分的关系。【拟解决的关键问题】田间试验,研究微生物量碳、氮对土壤养分和植株产量的影响,为新疆南疆红枣高产、高效栽培提供理论支持。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验于 2018 ~ 2019 年在新疆生产建设兵团第一师 12 团 8 连进行,试验区地处塔里木河南岸,是新疆红枣发展特色林果产业的策源地。该地日照时间长,平均年降水量 50 ~ 80 mm,年蒸发

量 2 000 ~ 3 000 mm,地下水位平均为 2.5 m。土壤为沙质壤土,试验果园土壤条件相对一致。表 1

1.2 方 法

1.2.1 试验设计

选择相邻 3 块 6 年生的枣园进行试验。共设置 3 个处理:低产骏枣(T₁)、中产骏枣(T₂)、高产骏枣(T₃)。每个试验地划分 3 个区组。严格控制人为可控的条件以减少误差。在 2018 年 4 月中下旬和 6 月上旬进行施肥,其中尿素、钾肥和有机肥一次性施入,复混肥分 2 次施入,叶面施肥和田间管理方式相同。3 种产量水平的枣园施肥方案。表 2

换算后 T₁ 施肥方案为 N 514.35 kg/hm², P₂ O₅ 917.7 kg/hm², K₂ O 220.5 kg/hm²; T₂ 施肥方案为 N 757.5 kg/hm², P₂ O₅ 1 470 kg/hm², 农家肥 6 000 kg/hm²; T₃ 施肥方案为 N 712.5 kg/hm², P₂ O₅ 1 380 kg/hm², 油渣 1 125 kg/hm²。2016 ~ 2018 年 3 块试验地平均产量分别为低产骏枣(T₁) 5 449.35 kg/hm²、中产骏枣(T₂) 6 581.25 kg/hm²、高产骏枣(T₃) 8 100.6 kg/hm²。

表 1 不同产量水平下枣园土壤基础养分含量

Table 1 Soil basic nutrient contents of jujube orchard at different yield levels				
土层深度 Soil depth (cm)	处理 Treatment	碱解氮 Available nitrogen (mg/kg)	速效磷 Available phosphorus (mg/kg)	速效钾 Available potassium (mg/kg)
0 ~ 20	T ₁	21.58	7.60	73.40
	T ₂	25.08	17.19	76.07
	T ₃	23.33	12.59	94.30
20 ~ 40	T ₁	9.92	4.73	74.73
	T ₂	12.83	11.87	80.97
	T ₃	11.67	8.93	85.40
40 ~ 60	T ₁	11.67	3.31	88.07
	T ₂	9.33	9.95	101.00
	T ₃	8.75	5.66	104.10

表 2 不同产量水平下枣园施肥方案

Table 2 Fertilization Programme of Jujube orchard at Different Yield Levels (kg/hm^2)

处理 Treatment	氮肥 Nitrogenous fertilizer	磷肥 Phosphate fertilizer	钾肥 Potash fertilizer	复混肥 Compound fertilizer	有机肥 Organic fertilizer
T ₁ (低产) T ₁ (Low yield)	尿素 337.5	—	硫酸钾镁 1 000.5	磷酸二铵 1 995	—
T ₂ (中产) T ₂ (Secondary)	尿素 375	—	—	磷酸二铵 3 000 15-30-10 复混肥 300	农家肥 6 000
T ₃ (高产) T ₃ (High yield)	尿素 375	—	硫酸钾镁 1 000.5	磷酸二铵 3 000	油渣 1 125

1.2.2 土壤样品采集与养分测定

在骏枣展叶期(4月22日)、花期(6月3日)、果实膨大期(7月6日,8月23日)、成熟期(10月3日)4个时期采样5次。随机采样法选取5个采样点,分别采集0~20、20~40和40~60 cm 3个深度的土样(共计3层×3区组×5次×3处理=135个土样)。样品采回后进行风干、过筛,之后测定土壤氮、磷、钾含量(碱解氮采用碱解扩散法;速效磷采用碳酸氢钠(NaHCO_3)浸提-钼锑抗比色法;速效钾采用中性醋酸铵(NH_4OAC)浸提-火焰光度法测定^[18])。土壤微生物量碳、氮样品的采集:在枣树坐果期采取枣树根际土壤,采样点及采样地选择与上述土壤样品采集相同,以便后期进行统计分析。且样品需要低温保存,采用氯仿熏蒸浸提法(FE)测定^[19]。

1.2.3 植株样品采集与养分测定

在骏枣盛花期(6月27日)、果实膨大期(7月28日)使用随机采样法采取3个枣园的枣吊、叶片各30株,每10株为1个重复。分别测定枣吊、叶片氮、磷、钾含量(全氮采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,奈氏比色法;全磷采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,钒钼黄比色法;全钾采用 $\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 消煮,火焰光度计法^[18])。

1.3 数据处理

运用 Excel 2010 对数据进行整理、计算及制作相关图表,应用 DPS 软件对试验所得数据进行单因素方差分析及相关性分析,并利用 Duncan 法进行多重比较。

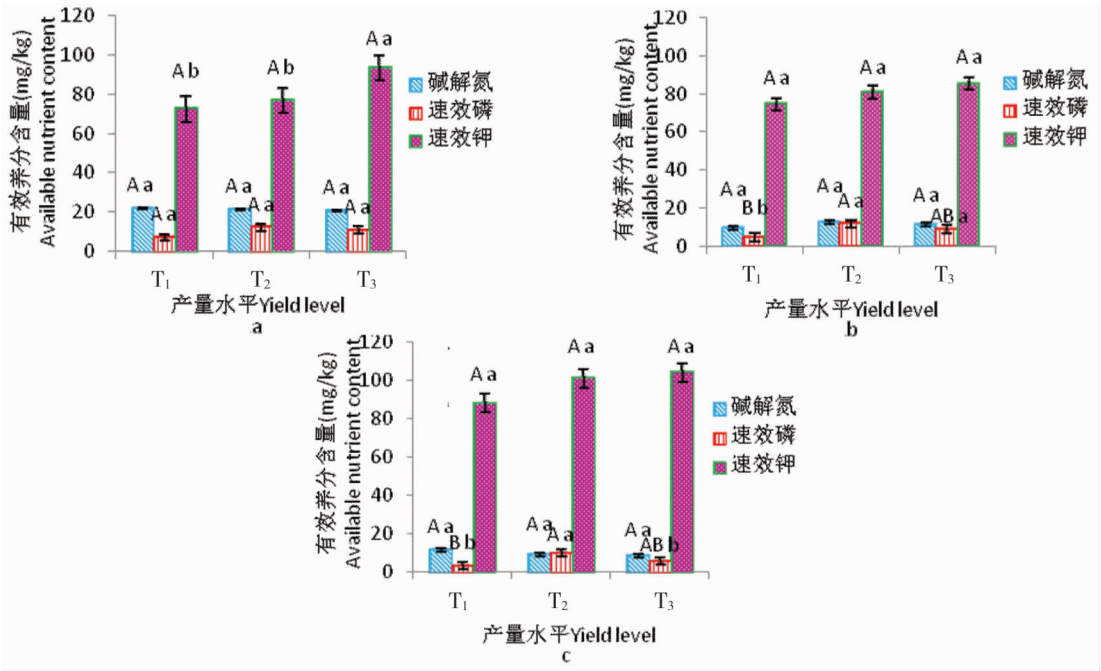
2 不同时期不同产量水平下枣园土壤养分的变化

研究表明,在骏枣展叶期,3种产量水平下不同土壤深度的养分含量存在一定差异。在0~20、20~40和40~60 cm深度下中产田(T₂)的土壤速效磷含量均极显著高于低产田(T₁),分别高达126.2%、150.6%和200.7%,在40~60 cm深度下,T₂水平的土壤速效磷含量显著高于T₃(高产)水平,高达75.9%。在0~20 cm土层下,T₃水平的土壤速效钾含量显著高于T₁、T₂水平,分别达28.5%、24.0%。3种土层深度下的碱解氮含量及20~40、40~60 cm深度下的土壤速效钾含量差异均不显著。图1

在花期,0~20 cm深度下,高产田的土壤速效钾含量显著高于中、低产田,分别为21.4%和28.8%。除此之外,其余土层的土壤养分含量差异均未达显著水平。图2

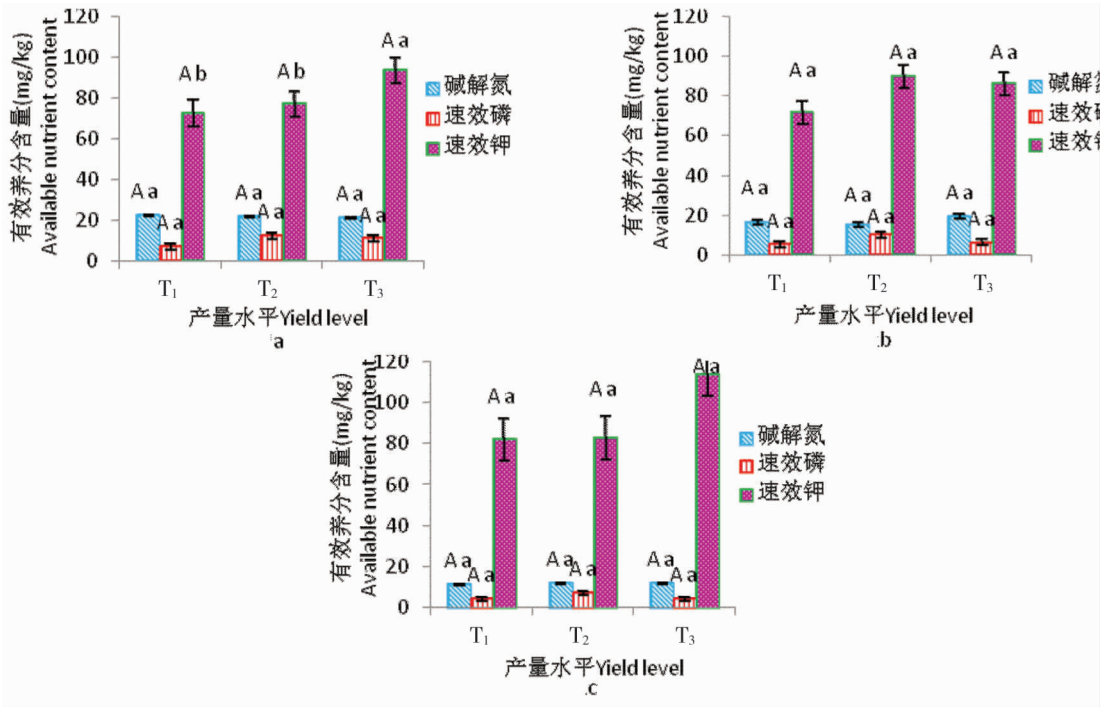
在果实膨大期,3种产量水平下不同土层的养分含量有所差异。在20~40 cm土层下,T₃(高产)水平的土壤速效钾含量显著高于T₁(低产)水平,高达12.1%。在40~60 cm深度下,T₃水平的土壤速效磷含量与T₁水平呈极显著差异,T₃比T₁高201.6%,且T₃水平的速效钾含量显著高于T₁、T₂水平,分别高达31.2%、28.0%。3种产量水平下,0~20 cm土壤有效养分含量、20~40 cm土壤碱解氮及速效磷含量、40~60 cm土壤碱解氮含量差异均不显著。图3

2 结果与分析



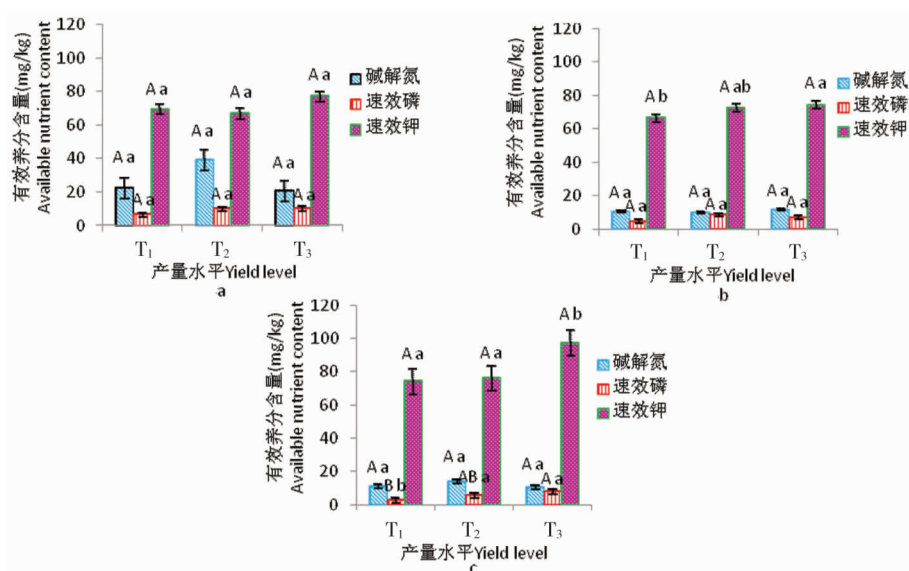
注:a:0~2 cm;b:20~40 cm;c:40~60 cm

图1 骏枣展叶期不同产量水平下枣园不同深度土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量差异
Fig. 1 The contents of hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil of different depths in jujube orchard at different yield levels during the leaf development stage of junzao jujube



注:a:0~2 cm;b:20~40 cm;c:40~60 cm

图2 花期不同产量水平下枣园不同深度土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量差异
Fig. 2 The contents of alkali-hydrolyzed nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil of different depths in jujube garden at different yield levels during flowering stage

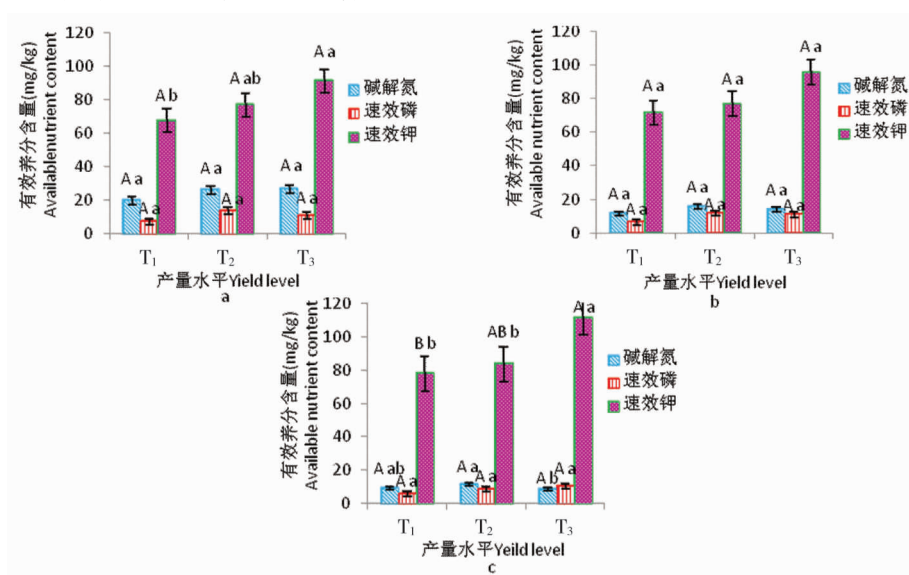


注:a:0~20 cm;b:20~40 cm;c:40~60 cm

图3 果实膨大期不同产量水平下枣园不同深度土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量差异
Fig. 3 The contents of hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium in soil at different depths of jujube orchard under different yield levels during fruit expansion stage

研究表明,在成熟期,3种产量水平下各土壤深度的养分含量存在一定差异。在0~20 cm深度下,T₃水平的速效钾含量显著高于T₁水平,高达34.9%。在40~60 cm深度下,中产田的碱解氮含量显著高于高产田,高达33.3%,且同一深度下,高产田的速效钾含量与中产田呈显著差异、

与低产田的速效钾含量呈极显著差异,T₃比T₂高33.5%,比T₁高43.5%。0~20 cm深度下3种产量水平的土壤碱解氮、速效磷含量、20~40 cm深度下土壤各养分含量、40~60 cm深度下土壤速效磷含量差异均不显著。图4



注:a:0~20 cm;b:20~40 cm;c:40~60 cm

图4 成熟期不同产量水平下枣园不同深度土壤碱解氮、速效磷、速效钾含量差异
Fig. 4 Differences in hydrolyzable nitrogen, available phosphorus and available potassium content in soil at different depths of jujube orchard at different yield levels in maturity stage

磷肥混合施较磷酸二铵能够显著提高土壤速效磷含量,施入油渣较施普通有机肥、不施有机肥对土壤速效钾含量提高更加显著。

2.2 不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮含量的差异

研究表明,高产田的微生物量碳(MBC)含量显著高于中产田和低产田,分别高达 63.3% 和 79.3%。而各产量水平间土壤微生物量氮含量差异均不显著。施用有机肥对土壤微生物碳量、微生物氮量均有显著促进作用,而化肥则不具有这种功能,相对于普通农家肥而言,油渣更能促进微生物量碳的增加。图 5

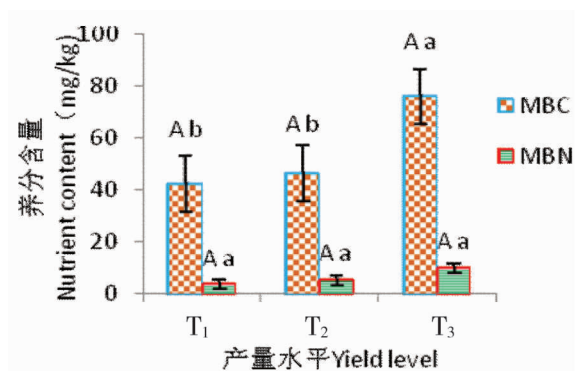


图 5 不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮含量比较

Fig. 5 Carbon and nitrogen contents of soil microbial biomass in jujube garden were compared under different yield levels

2.3 不同时期不同产量水平下红枣叶片、枣吊养分含量的差异

研究表明,在盛花期、果实膨大期 3 种产量水平下,红枣叶片及枣吊各养分含量有所差异。

在盛花期,高产田的红枣叶片全氮含量极显著高于中、低产田,分别高达 17.3% 和 30.3%,而全磷、全钾含量差异未达显著水平,且各地块间枣吊养分含量差异均不显著。

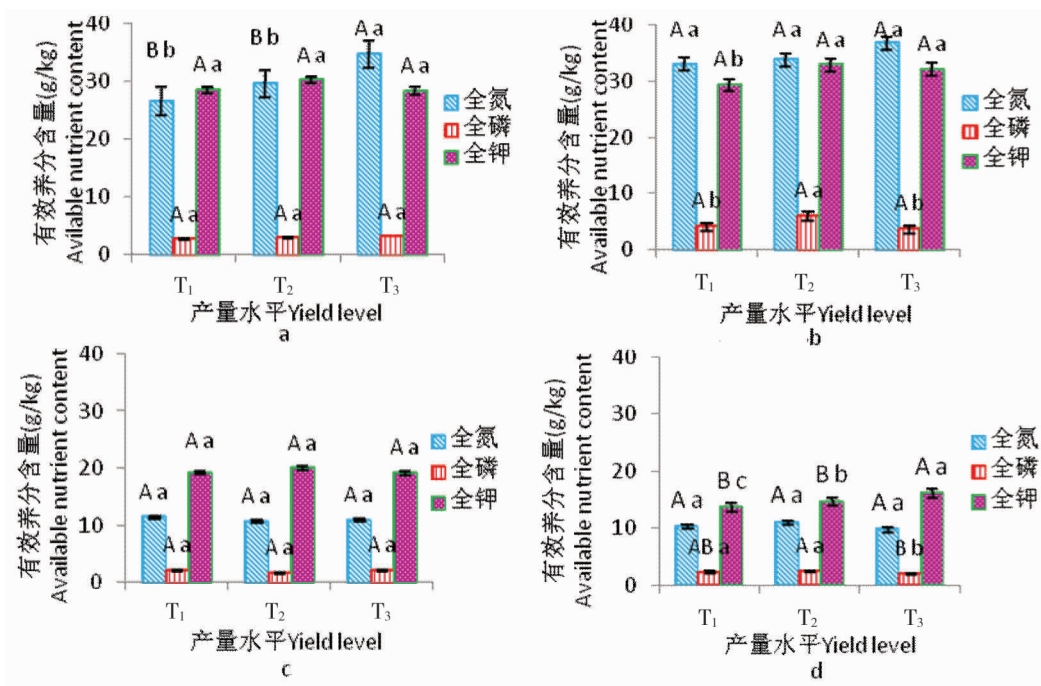
在果实膨大期,3 个地块间的红枣叶片全氮、

枣吊全氮含量差异均不显著。而 T₂(中产)与 T₁(低产)、T₃(高产)水平的红枣叶片全磷含量差异达显著水平,T₂ 处理下的红枣叶片全磷含量比 T₁ 高 46.4%,比 T₃ 高 64.3%。T₂、T₃ 水平下红枣叶片全钾含量与 T₁ 水平呈显著差异,T₂、T₃ 处理下的红枣叶片全钾含量分别比 T₁ 高 12.2% 和 9.8%。T₁ 水平的枣吊全磷含量显著高于 T₃ 水平,且 T₂ 水平的枣吊全磷含量极显著高于 T₃ 水平,分别高达 14.6% 和 23.4%。T₃ 水平的枣吊全钾含量极显著高于 T₁、T₂ 水平,分别为 19.0% 和 10.3%,且 T₂ 与 T₁ 水平呈显著差异,T₂ 比 T₁ 高 7.8%。图 6

不同时期不同产量水平下红枣叶片全氮、全钾含量均极显著高于全磷含量,且果实膨大期红枣叶片养分含量略高于盛花期;不同时期不同产量水平下枣吊全钾含量相对较高,其次为全氮,全磷含量,且盛花期枣吊养分含量高于果实膨大期。

2.4 不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮含量与 4 个时期土壤速效养分之间的关系

研究表明,土壤微生物量碳(MBC)、微生物量氮(MBN)、与不同深度下土壤各养分含量之间具有相关关系,但相关性有所不同。MBC 与 MBN 呈极显著正相关,相关方程为 $y = 0.2084x - 5.1626$ ($r = 0.837^{**}$),且 MBC 与 0~20 cm 深度下土壤速效钾含量呈显著正相关,相关方程为 $y = 0.3899x + 59.848$ ($r = 0.691^{*}$);MBN 与各土层养分含量相关性虽不显著但基本呈一定的正相关关系;0~20 cm 土层速效磷含量与 20~40 cm 土层碱解氮、速效磷含量均呈极显著正相关,相关方程为 $y = 0.4296x + 6.1186$ ($r = 0.844^{**}$) 和 $y = 0.6586x + 0.301$ ($r = 0.911^{**}$);20~40 cm 深度下的碱解氮与速效磷含量呈极显著正相关,相关方程为 $y = 1.1495x - 4.6791$ ($r = 0.810^{**}$)。表 3



注:a:盛花期(枣树叶片);b:果实膨大期(枣树叶片);c:盛花期(枣吊);d:果实膨大期(枣吊)

Note:a;blooming stage(leaves of jujube);b:fruit expansion stage(leaves of jujube);c:blooming stage (jujube hanging);d:fruit expansion stage(jujube hanging)

图6 不同时期不同产量水平下红枣叶片及枣吊全氮、全磷、全钾含量差异

Fig. 6 Differences in total nitrogen, total phosphorus and total potassium contents of leaves and jujube springs at different yield levels in different stages

表3 土壤微生物量碳、氮含量与骏枣展叶期土壤各层次速效养分相关系数

Table 3 Table of relationship between soil microbial biomass carbon and nitrogen content and soil available nutrients at different levels during leaf development of jujube

土层深度 Soil depth (cm)	相关系数 Correlati - on coefficie - nt			0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			40 ~ 60 cm		
		MBC	MBN	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾	碱解氮	速效磷	速效钾
				Hydroly zabl - e N (mg/kg)	Avavila - ble P (mg/kg)	Avavi - able K (mg/kg)	Hydroly zabl - e N (mg/kg)	Avavila - ble P (mg/kg)	Avavi - able K (mg/kg)	Hydroly zabl - e N (mg/kg)	Avavila - ble P (mg/kg)	Avavi - able K (mg/kg)
	MBC	1										
	MBN	0.837 * *	1									
0 ~ 20	碱解氮	0.040	0.223	1								
	速效磷	0.096	0.287	0.571	1							
	速效钾	0.691 *	0.351	0.264	0.142	1						
20 ~ 40	碱解氮	0.124	0.325	0.507	0.844 * *	0.122	1					
	速效磷	0.164	0.308	0.386	0.911 * *	0.089	0.810 * *	1				
	速效钾	0.348	-0.02	0.276	0.286	0.717	0.1563	0.096	1			
40 ~ 60	碱解氮	0.087	0.098	-0.125	-0.447	-0.374	-0.207	-0.274	-0.334	1		
	速效磷	0.082	0.005	0.199	0.727	0.047	0.486	0.781	0.401	-0.103	1	
	速效钾	0.210	-0.042	-0.246	0.031	0.346	-0.055	0.236	0.049	-0.126	0.286	1

注:*表示在0.05水平上显著相关,**表示在0.01水平上极显著相关,下同

Note: * Indicates a significant correlation at the level of 0.05, ** indicates an extremely significant correlation at the level of 0.01, the same as below

研究表明,20 ~ 40 cm 与 40 ~ 60 cm 深度下的速效磷含量呈极显著正相关关系,相关方程为 $y = 0.832\ 3x - 0.789\ 5$ ($r = 0.881^{**}$);20 ~ 40 cm 土壤速效钾含量与 40 ~ 60 cm 土壤碱解氮含量呈显著正相关,相关方程为 $y = 0.179\ 1x - 3.264\ 3$ ($r = 0.693^{*}$)。表 4

表 4 土壤微生物量碳、氮含量与花期土壤各层次速效养分相关系数

Table 4 Table of relationship between soil microbial biomass carbon and nitrogen content and soil available nutrients at different levels during flowering period

土层深度 Soil depth (cm)	相关系数 Correlation coefficient	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			40 ~ 60 cm		
				碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
	微生物量碳 MBC	1										
	微生物量氮 MBN	0.837 **	1									
0 ~ 20	碱解氮	-0.228	-0.044	1								
	速效磷	0.112	0.255	0.100	1							
	速效钾	0.572	0.235	0.098	0.339	1						
20 ~ 40	碱解氮	-0.062	-0.327	0.234	0.304	0.449	1					
	速效磷	-0.176	-0.211	-0.222	0.541	-0.098	0.320	1				
	速效钾	0.173	0.095	0.257	0.412	0.519	0.263	0.068	1			
40 ~ 60	碱解氮	-0.130	-0.410	0.184	-0.121	0.388	0.469	-0.219 8	0.693 *	1		
	速效磷	-0.116	-0.129	-0.144	0.210	-0.272	0.194	0.881 **	-0.205	-0.424	1	
	速效钾	0.313	-0.120	-0.017	0.043	0.793	0.701	-0.063	0.524	0.704	-0.197	1

研究表明,土壤微生物量碳(MBC)与20 ~ 40 cm 深度下的土壤速效钾含量呈显著正相关关系,相关方程为 $y = 0.101\ 1x + 66.459$ ($r = 0.680^{*}$);0 ~ 20 cm 土层碱解氮含量分别与0 ~ 20 cm 速效磷含量呈显著正相关,相关方程为 $y = 0.234x + 3.237\ 6$ ($r = 0.670^{*}$);0 ~ 20 cm 深度下的速效钾含量与20 ~ 40 cm 速效磷含量达显著正相关,相关方程为 $y = 0.199\ 8x - 8.037\ 4$ ($r = 0.670^{*}$);0 ~ 20 cm 深度下的速效钾与20 ~ 40 和40 ~ 60 cm 速效钾含量呈极显著正相关,相关方程分别为 $y = 0.610\ 5x + 25.363$ ($r = 0.801^{**}$)和 $y = 1.915x - 56.854$ ($r = 0.876^{**}$);20 ~ 40 cm 土层碱解氮与40 ~ 60 cm 土层速效钾含量呈显著正相关,相关方程为 $y = 3.215\ 5x + 42.911$ ($r = 0.673^{*}$)。表 5

MBC、MBN 与各土层养分含量呈一定正相关关系;0 ~ 20 cm 土层速效磷与20 ~ 40 cm 土层速

效磷含量呈极显著正相关,相关方程分别为 $y = 0.854\ 8x + 0.654\ 3$ ($r = 0.946^{**}$);0 ~ 20 cm 土层与20 ~ 40 cm 深度下的速效钾含量呈极显著正相关,相关方程为 $y = 1.255\ 6x - 17.268$ ($r = 0.925^{**}$),与40 ~ 60 cm 深度下的速效磷、速效钾含量呈极显著正相关,相关方程分别为 $y = 0.224\ 7x - 9.369\ 6$ ($r = 0.891^{**}$)和 $y = 1.148\ 2x + 0.806$ ($r = 0.898^{**}$);20 ~ 40 cm 与40 ~ 60 cm 深度下的碱解氮含量呈显著正相关,相关方程为 $y = 0.282\ 2x + 6.021$ ($r = 0.669^{*}$);20 ~ 40 cm 土层下速效磷与40 ~ 60 cm 土层下速效磷含量呈极显著正相关,相关方程为 $y = 0.790\ 9x + 0.589\ 4$ ($r = 0.864^{**}$);20 ~ 40 cm 速效钾含量与40 ~ 60 cm 土层的速效磷、速效钾含量呈极显著正相关,相关方程分别为 $y = 0.157\ 7x - 4.544\ 3$ ($r = 0.848^{**}$)和 $y = 0.816\ 9x + 24.54$ ($r = 0.867^{**}$)。表 6

表 5 土壤微生物量碳、氮含量与果实膨大期土壤各层次速效养分相关系数

Table 5 Table of relationship between soil microbial biomass carbon and nitrogen content in soil and soil available nutrients at available at various levels during fruit expansion

土层深度 Soil depth (cm)	相关系数 Correlation coefficient	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			40 ~ 60 cm		
				碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
		1										
		0.837 **	1									
0 ~ 20		-0.282	-0.301	1								
		0.194	0.297	0.670 *	1							
		0.356	0.148	0.344	0.544	1						
20 ~ 40		0.051	-0.023	0.613	0.796	0.710	1					
		0.251	0.139	0.786	0.777	0.670 *	0.571	1				
		0.680 *	0.625	-0.025	0.371	0.801 **	0.318	0.506	1			
40 ~ 60		-0.208	0.058	0.283	0.506	0.022	0.228	0.273	0.016	1		
		0.407	0.021	0.516	0.322	0.528	0.322	0.765	0.381	-0.171	1	
		0.413	0.103	0.318	0.425	0.876 **	0.673 *	0.575	0.628	-0.378	0.625	1

表 6 土壤微生物量碳、氮含量与成熟期土壤各层次速效养分相关系数

Table 6 Table of relationship between soil microbial biomass carbon and nitrogen content and soil available nutrients in mature Stage

土层深度 Soil depth (cm)	相关系数 Correlation coefficient	微生物量碳 MBC	微生物量氮 MBN	0 ~ 20 cm			20 ~ 40 cm			40 ~ 60 cm		
				碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)	碱解氮 Hydrolyzable N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
		1										
		0.837 **	1									
0 ~ 20		0.488	0.323	1								
		0.089	0.301	0.376	1							
		0.358	0.329	0.234	0.655	1						
20 ~ 40		-0.062	-0.190	0.720	0.240	0.164	1					
		0.270	0.455	0.449	0.946 **	0.753	0.231	1				
		0.256	0.299	0.024	0.583	0.925 **	-0.101	0.719	1			
40 ~ 60		-0.434	-0.337	0.309	0.168	-0.259	0.669 *	0.128	-0.330	1		
		0.350	0.296	0.471	0.779	0.891 **	0.221	0.864 **	0.848 **	-0.149	1	
		0.615	0.479	0.169	0.371	0.898 **	-0.040	0.551	0.867 **	-0.439	0.747	1

2.5 不同产量水平下枣园土壤微生物量碳、氮含量与红枣叶片、枣吊养分之间的相关系数

研究表明,在盛花期,土壤微生物量碳

(MBC)、微生物量氮(MBN)量与红枣叶片、枣吊各养分含量未达显著水平,且大致呈负相关关系。红枣叶片全磷与枣吊全磷含量间呈显著正相关关

系,相关方程为 $y = 0.483\ 2x + 0.529\ 6$ ($r = 0.673^*$)。表 7

钾含量呈极显著正相关,相关方程为 $y = 0.248\ 6x + 6.219\ 2$ ($r = 0.851^{**}$)。表 8

在果实膨大期,枣树叶片全氮含量与枣吊全

表 7 土壤微生物量碳、氮含量与盛花期红枣叶片、枣吊养分之间的相关系数

Table 7 Table of correlation coefficient between soil microbial biomass carbon and nitrogen content and leaves and nutrients of jujube jube during flowering period

相关系数 Coefficient correlation		微生物 量碳 MBC (mg/kg)	微生物 量氮 MBN (mg/kg)	叶片全氮 Leaf total nitrogen (g/kg)	叶片全磷 Leaf total phosphoru – s (g/kg)	叶片全钾 Leaf total potassium (g/kg)	枣吊全氮 Jujube total nitrogen (g/kg)	枣吊全磷 Jujube total phosphor – us (g/kg)	枣吊全钾 Jujube total potassium (g/kg)
	微生物量碳 MBC(mg/kg)	1							
	微生物量氮 MBN(mg/kg)	0.837 * *	1						
	全氮(g/kg)	0.723	0.589	1					
叶片 Leaf	全磷(g/kg)	−0.006	−0.055	0.375	1				
	全钾(g/kg)	−0.507	−0.194	−0.230	−0.086	1			
枣吊 Jujube hanging	全氮(g/kg)	−0.125	−0.278	−0.014	0.286	−0.336	1		
	全磷(g/kg)	0.163	−0.082	0.339	0.673 *	−0.663	0.585	1	
	全钾(g/kg)	−0.120	−0.003	−0.069	0.197	0.325	0.570	−0.100	1

表 8 土壤微生物量碳、氮含量与果实膨大期红枣叶片、枣吊养分之间的相关系数

Table 8 Table of correlation coefficient between soil microbial biomass carbon and nitrogen content and leaves and nutrients of jujube jube during fruit expansion

相关系数 Coefficient correlation		微生物 量碳 MBC (mg/kg)	微生物 量氮 MBN (mg/kg)	叶片全氮 Leaf total nitrogen (g/kg)	叶片全磷 Leaf total phosphoru – s (g/kg)	叶片全钾 Leaf total potassium (g/kg)	枣吊全氮 Jujube total nitrogen (g/kg)	枣吊全磷 Jujube total phosphor – us (g/kg)	枣吊全钾 Jujube total potassium (g/kg)
	微生物量碳 MBC(mg/kg)	1							
	微生物量氮 MBN(mg/kg)	0.837 * *	1						
	全氮(g/kg)	0.744	0.751	1					
叶片 Leaf	全磷(g/kg)	−0.466	−0.358	0.375	1				
	全钾(g/kg)	0.216	0.107	−0.227	−0.086	1			
枣吊 Jujube hanging	全氮(g/kg)	−0.181	0.125	−0.130	−0.216	0.491	1		
	全磷(g/kg)	−0.660	−0.236	−0.579	−0.159	0.663	0.590	1	
	全钾(g/kg)	0.565	0.363	0.851 * *	0.379	0.046	−0.248	−0.614	1

3 讨论

虽然土壤微生物量碳、氮在土壤中含量低,但其在生态系统中却具有重要地位。马志良^[20]在窄叶鲜卑花高寒灌丛根际和非根际土壤中研究发

现,生长季节、增温均对土壤微生物生物量碳、氮的根际效应有一定的影响。同时,土壤微生物量受土壤温度、湿度及土壤有效养分综合作用的影响^[21]。MBC、MBN、MBP 的环境影响因素主要有年均温、年均降水量、干燥度、母质、海拔^[22]。外

源磷添加有利于缺磷土壤速效磷含量的增加,并且可以增加茶园土壤微生物生物量碳、氮含量。外源添加物质会影响土壤有机质含量和微生物种群结构,从而影响微生物碳、氮含量^[2]。此外,秸秆还田可改善土壤微生物多样性^[23]。

生物炭和有机质对 MBC、MBN 含量和土壤肥力具有一定的促进效果^[24-26]。微生物肥料对作物生长和土壤养分含量积累有一定的促进作用^[27],同时有机肥的施用会显著改善土壤物理环境,比如可以降低土壤容重、促进团粒结构生成,在提高有机质含量的同时也可以提高土壤微生物量碳、氮含量^[28],曲成闯^[29]在潮土上试验发现,施用生物有机肥可以使土壤微生物量碳、氮分别增加 33.66%~52.67% 和 11.52%~22.64%,同时发现土壤容重与有机质含量与微生物量碳、氮具有显著相关关系。微生物量碳、氮在某种意义上代表了土壤肥力状况^[30],与土壤有机质含量、土壤氮含量都有一定的关系。

4 结 论

4.1 从土壤养分总体状况来看,土壤碱解氮、速效磷含量随着土壤深度的增加呈逐渐降低的趋势,速效钾含量呈上升趋势。土壤微生物量碳与骏枣展叶期 0~20 cm 土层速效钾含量、果实膨大期 20~40 cm 土层速效钾含量呈显著正相关。不同深度下土壤各养分中速效钾含量相对较高,其次为碱解氮,速效磷含量相对偏低。土壤微生物量碳与土壤微生物量氮呈极显著正相关。高产田的 MBC 显著的高于中、低产田。

4.2 在其他管理措施一致的情况下,作为土壤肥力重要指标的土壤微生物量碳、氮自然与产量密切相关,当然也与其他土壤环境条件(如养分状况)及植株功能部位养分含量有一定关系。试验发现,化肥施用量相近时,有机肥施用对红枣产量有重要影响,高产和中产枣园施用有机肥较低产(不施有机肥)更能有效提高微生物量碳、氮含量,施棉籽油渣相对于粪肥而言,也能够促进微生物量碳氮的提高。

参考文献 (References)

[1] 杨凯, 朱教君, 张金鑫, 等. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物生物量碳氮的季节变化 [J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5500-5507.

YANG Kai, ZHU Jiaojun, ZHANG Jinxin, et al. Seasonal variation of soil microbial biomass carbon and nitrogen in larch plantation with different forest ages [J]. *Acta ecologica sinica*, 2009, 29(10): 5500-5507.

[2] 彭艳, 杨成, 李婷婷. 外源磷添加对茶园土壤磷有效性和微生物量碳、氮、磷的影响 [J]. 西部林业科学, 2019, 48(1): 12-17.

PENG Yan, YANG Cheng, LI Tingting. Effects of exogenous phosphorus addition on soil phosphorus availability and microbial biomass carbon, nitrogen and phosphorus in tea garden [J]. *Western Forestry Science*, 2019, 48(1): 12-17.

[3] 施福军, 黄则月, 李婷, 等. 望天树天然林土壤微生物生物量碳氮垂直分布及相关性分析 [J]. 林业与环境科学, 2018, 34(6): 72-76.

SHI Fujun, HUANG Zeyue, LI Ting, et al. Vertical distribution and correlation analysis of soil microbial biomass carbon and nitrogen in natural forest of Wangtianshu [J]. *Forestry and Environmental Science*, 2018, 34(6): 72-76.

[4] 马想, 黄晶, 赵惠丽, 等. 秸秆与氮肥不同配比对红壤微生物量碳氮的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(6): 1574-1580.

MA Xiang, HUANG Jing, ZHAO Huili, et al. Effects of different ratios of straw and nitrogen fertilizer on microbial biomass of red soil [J]. *Chinese Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2018, 24(6): 1574-1580.

[5] Anita Ravindran, Shang-Shyng Yang. Effects of vegetation type on microbial biomass carbon and nitrogen in subalpine mountain forest soils [J]. *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 2015, 48(4).

[6] 刘宝, 吴文峰, 林思祖, 等. 中亚热带 4 种林分类型土壤微生物生物量碳氮特征及季节变化 [J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 1901-1910.

LIU Bao, WU Wenfeng, LIN Sizhu, et al. Characteristics of soil microbial biomass carbon and nitrogen and its seasonal dynamics in four mid-subtropical forests [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(6): 1901-1910.

[7] Distribution of Soil Enzyme Activities and Microbial Biomass Along a Latitudinal Gradient in Farmlands of Songliao Plain, Northeast China [J]. *Pedosphere*, 2008, (4): 431-440.

[8] S. U. Sarathchandra, K. W. Perrot, R. A. Littler. Soil microbial biomass: influence of simulated temperature changes on size, activity and nutrient content [J]. *Soil Biol Biochem*, 1989, 21: 987-993.

[9] Basiliko N, Moore T R, Lafleur P M, et al. Seasonal and inter-annual decomposition, microbial biomass, and nitrogen dynamics a Canadian bog [J]. *Soil Science*, 2005, 170(11): 902-912.

[10] 张娟霞, 刘伟刚, 宁媛, 等. 长期秸秆还田与施氮后土壤活性碳、氮的变化 [J]. 水土保持学报, 2018, 32(3): 212-

217.
ZHANG Juanxia, LIU Weigang, NING Yuan, et al. Changes of soil activated carbon and nitrogen after long-term straw mulching and nitrogen application [J]. *Chinese Journal of Soil and Water Conservation*, 2018, 32(3): 212–217.
- [11] 侯贤清, 李荣, 吴鹏年, 等. 秸秆还田配施氮肥对土壤碳氮含量与玉米生长的影响 [J]. *农业机械学报*, 2018, 49(9): 238–246.
HOU Xianqing, LI Rong, WU Pengnian, et al. Effects of straw mulching on soil carbon and nitrogen content and maize growth [J]. *Chinese Journal of Agricultural Machinery*, 2018, 49(9): 238–246.
- [12] 吴立鹏, 张士荣, 娄金华, 等. 秸秆还田与优化施氮对稻田土壤碳氮含量及产量的影响 [J]. *华北农学报*, 2019, 34(4): 158–166.
WU Lipeng, ZHANG Shirong, LOU Jinhua, et al. Effects of straw mulching on soil carbon and nitrogen content and yield in rice field [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2019, 34(4): 158–166.
- [13] 任江波, 李钠钾, 秦平伟, 等. 不同覆盖材料对土壤理化性状和微生物量碳氮含量的影响 [J]. *西南农业学报*, 2018, 31(10): 2140–2145.
REN Jiangbo, LI Najia, QIN Pingwei, et al. Effects of different mulching materials on soil physical and chemical properties and carbon and nitrogen content of microbial biomass [J]. *Chinese Journal of Southwest Agriculture*, 2018, 31(10): 2140–2145.
- [14] 王丽娜, 罗久富, 杨梅香, 等. 氮添加对退化高寒草地土壤微生物量碳氮的影响 [J]. *草业学报*, 2019, 28(7): 38–48.
WANG Lina, LUO Jiufu, YANG Meixiang, et al. Effects of nitrogen addition on soil microbial biomass of degraded alpine grassland [J]. *Acta Pratacae Sinica*, 2019, 28(7): 38–48.
- [15] LI Chunxi, MA Shouchen, SHAO Yun, et al. ZHANG Lingling. Effects of long-term organic fertilization on soil microbiologic characteristics, yield and sustainable production of winter wheat [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2018, 17(1): 210–219.
- [16] 安世花, 罗安焕, 王小利, 等. 长期施肥对黄壤旱地及水田土壤微生物生物量碳、氮的影响 [J]. *河南农业科学*, 2019, 48(6): 73–80.
AN Shihua, LUO Anhuan, WANG Xiaoli, et al. Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen in upland and paddy soil of yellow soil [J]. *Henan Agricultural Sciences*, 2019, 48(6): 73–80.
- [17] 郭振, 王小利, 徐虎, 等. 长期施用有机肥增加黄壤稻田土壤微生物量碳氮 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2017, 23(5): 1168–1174.
GUO Zhen, WANG Xiaoli, XU Hu, et al. Effects of long-term application of organic fertilizer on soil microbial biomass in yellow soil paddy field [J]. *Chinese Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2017, 23(5): 1168–1174.
- [18] 南京农业大学. 土壤农化分析 [M]. 北京: 农业出版社, 1986.
Nanjing Agricultural University. *Soil Agricultural Analysis* [M]. Beijing: Beijing Agricultural Press, 1986.
- [19] 林启美, 吴玉光, 刘焕龙. 熏蒸法测定土壤微生物量碳的改进 [J]. *生态学杂志*, 1999, (2): 64–67.
LIN Qimei, WU Yuguang, LIU Huanlong. Improvement of soil microbial biomass carbon measurement by fumigation [J]. *Journal of Ecology*, 1999, (2): 64–67.
- [20] 马志良, 赵文强, 刘美, 等. 增温对高寒灌丛根际和非根际土壤微生物生物量碳氮的影响 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(6): 1893–1900.
MA Zhiliang, ZHAO Wenqiang, LIU Mei, et al. Effects of warming on soil microbial biomass of rhizosphere and non-rhizosphere in alpine shrub [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019, 30(6): 1893–1900.
- [21] 刘纯, 刘延坤, 金光泽. 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 [J]. *生态学报*, 2014, 34(2): 451–459.
LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze. Seasonal variation characteristics of soil microbial biomass of 6 forest types in Xiaoxing'an mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(2): 451–459.
- [22] 吴晓玲, 张世熔, 蒲玉琳, 等. 川西平原土壤微生物生物量碳氮磷含量特征及其影响因素分析 [J]. *中国生态农业学报*, 2019, (10): 1607–1616.
WU Xiaoling, ZHANG Shirong, PU Yulin, et al. Analysis of carbon, nitrogen and phosphorus content in soil microbial biomass and its influencing factors in western Sichuan plain [J]. *Chinese Journal of Ecological Agriculture*, 2019, (10): 1607–1616.
- [23] 孟超然, 白如霄, 杨鹏辉, 等. 秸秆还田对干旱区滴灌玉米生产及土壤微生物的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2018, 55(12): 2251–2260.
MENG Chaoran, BAI Ruxiao, YANG Penghui, et al. Effects of straw mulching on the production of drip-irrigated maize and soil microorganisms in arid areas [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2018, 55(12): 2251–2260.
- [24] 石玉龙, 高佩玲, 刘杏认, 等. 生物炭和有机肥施用提高了华北平原滨海盐土微生物量 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2019, 25(4): 555–567.
SHI Yulong, GAO Peiling, LIU Xingren, et al. Biochar and organic fertilizer application increased the microbial biomass of coastal saline soil in north China plain [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2019, 25(4): 555–567.
- [25] 张云舒, 唐光木, 龙晓双, 等. 施用小麦秸秆炭对灌耕风沙土土壤养分含量及玉米产量的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2019, (9): 1677–1683.
ZHANG Yunshu, TANG Guangmu, LONG Xiaoshuang, et al.

- Effects of wheat straw charcoal on soil nutrient content and maize yield in wind – sand soil under irrigation and tillage [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, (9): 1677 – 1683.
- [26] 李新宇, 孟康, 李小英, 等. 生物炭对元谋红壤土壤肥力与番茄生长的影响 [J]. 西部林业科学, 2019, 48(2): 114 – 120.
- LI Xinyu, MENG Kang, LI Xiaoying, et al. Effects of biochar on soil fertility and tomato growth in Yuanmou dry red soil [J]. *Western Forestry Science*, 2019, 48(2): 114 – 120.
- [27] 刘雪花, 支金虎, 柴朝晖, 等. 连作障碍消减措施对棉花产量形成和化感自毒作用的影响 [J]. 新疆农业科学, 2019, 56(3): 509 – 520.
- LIU Xuehua, ZHI Jinhu, CHAI Chaohui, et al. Effects of continuous cropping barriers on cotton yield formation and allelopathic autotoxicity [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2019, 56(3): 509 – 520.
- [28] 武欣, 孟会生, 栗丽, 等. 不同肥料配施对复垦土壤呼吸及微生物量碳氮的影响 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2017, 37(1): 48 – 53.
- WU Xin, MENG Huisheng, LI Li, et al. Effects of different fertilizer combinations on soil respiration and microbial biomass carbon and nitrogen in reclaimed soil [J]. *Journal of Shanxi agricultural university (natural science edition)*, 2017, 37(1): 48 – 53.
- [29] 曲成闯, 陈效民, 韩召强, 等. 生物有机肥对潮土物理性状及微生物量碳、氮的影响 [J]. 水土保持通报, 2018, 38(5): 70 – 76.
- QU Chengchuang, CHEN Xiaonin, HAN Zhaoqiang, et al. Effects of biological organic fertilizer on physical properties and microbial biomass carbon and nitrogen in tidal soil [J]. *Water and Soil Conservation Bulletin*, 2018, 38(5): 70 – 76.
- [30] 李国辉, 陈庆芳, 黄懿梅, 等. 黄土高原典型植物根际对土壤微生物量碳、氮、磷和基础呼吸的影响 [J]. 生态学报, 2010, 30(4): 976 – 983.
- LI Guohui, CHEN Qingfang, HUANG Yimei, et al. Effects of typical plant rhizosphere on soil microbial biomass carbon, nitrogen phosphorus and basal respiration in loess plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(4): 976 – 983.

Relationship of Soil Microbial Carbon, Nitrogen and Nutrients of Soil and Plant in Jujube Orchard at Different Yield Levels

SONG Sansan^{1,2}, ZHENG Qiangqing³, YAO Yongsheng¹, CHEN Qiling³,

WANG Jingjing³, WANG Yuan¹, ZHENG Sengyu¹, TANG Meng¹, ZHI Jinhu^{1,2}

(1. College of Plant Science, Tarim University, Alar Xinjiang 843300, China; 2. Research Center of Agricultural Resources and Environment in the Oasis Area of Southern Xinjiang, Alar Xinjiang 843300, China; 3. Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Shihezi Xinjiang 832000, China)

Abstract: [Objective] To study the relationship between soil microbial biomass carbon (MBC) and microbial biomass nitrogen (MBN) in jujube orchard at different yield levels and soil and plant nutrients in different periods can provide theoretical basis for soil management for high yield of jujube in southern Xinjiang. **[Method]** Zizyphus jujuba orchards with three different yield levels (high, middle and low) in southern Xinjiang were taken as research objects, and through field experiments, the relationship between soil microbial biomass carbon and nitrogen content of different soil layers and plant nitrogen, phosphorus and potassium in Zaoyuan at different yield levels was studied. **[Result]** The results showed that the content of soil available nitrogen and available phosphorus decreased gradually with the increase of soil depths, but available potassium content increased. The correlation between soil (MBC) and soil (MBN) was very significant and the correlation coefficient was 0.836 7. Soil MBC content was significantly and positively correlated with the content of available potassium in the 0 – 20 cm soil layer during exhibition leaf stage of jujube. Meanwhile it was showed significant great positive correlated correlation with available potassium in 20 – 40 cm soil layer during expansion period of jujube. **[Conclusion]** At present, soil MBC, MBN and nutrient content in jujube orchard were maintained at a high level and soil and plant nutrients would have significant impacts on MBC and MBN.

Key words: microbial biomass carbon; microbial biomass nitrogen; soil nutrients; plant yield

Fund project: Supported by division development and innovation support plan of Xinjiang production and construction corps; Research, development and application of key technology of quality control of jun jujube (2017BA040); The national key research and development program of China (2017YFC0504300, 2017YFD0201900)

Correspondence author: ZHI Jinhu (1978 –), male, native place: Zhangye, Gansu. Professor, research field: Plant nutrition and soil health management, (E – mail) zjhzky@163.com