

农田小环境。压砂田种植技术的推广应用,促进了西北地区旱作农业快速、稳定发展,提高了旱农区作物产量,增加了旱农区农民的经济收入<sup>[3]</sup>。

宁夏中部干旱带的砂田最早已有 100 多年历史,初期主要种植籽用西瓜,也有种植小麦、糜子、谷子等粮食作物,到 20 世纪 80 年代初面积达到 1 200 hm<sup>2</sup>。1995 年开始种植鲜食西瓜,因品质好、经济效益高,20 世纪初被自治区人民政府确定为宁夏优势特色产业之一,予以大面积推广。宁夏作为国内目前规模最大的纯天然无污染甜、西瓜基地。近年来,砂田西瓜已经成为农民增加经济收入的支柱产业,并成为宁夏干旱区农民致富的“聚宝盆”,种植作物已发展成为多种多样。2006 年,据许强等<sup>[4]</sup>研究,随着种植年限增加,砂田土壤有效养分含量呈先升后降的变化趋势,一定年限后,潜在肥力消耗殆尽,必然造成土壤肥力的下降。

目前以西瓜、甜瓜为砂田的主要栽培作物,随着单一作物的长期连作难以实行轮作倒茬,不但会造成产量与品质下降,还极易引起病虫害的大面积爆发。因此,必须加强砂田适生作物的筛选研究,增加砂田植物多样性,实行合理轮作倒茬<sup>[2]</sup>。

前人在砂田土壤理化性状、土壤微生物方面做了大量研究,也得出土壤微生物可以促进土壤养分的循环<sup>[5]</sup>;随着压砂地土壤微生物总数减少,压砂地有机碳、全氮和碱解氮含量随着年限的延长也逐年降低<sup>[6]</sup>。土壤中微生物活性高低可以代表土壤中物质代谢的旺盛程度,在一定程度上反映作物对养分的吸收利用与生长发育状况等,是土壤肥力的重要指标。但关于砂田土壤理化性状和土壤微生物之间的相关性,研究的比较少。该研究通过多种轮作模式的土壤理化性状,初步筛选出适合砂田的轮作模式,同时就砂田的土壤理化性状与微生物性状之间的相关性做了探讨,旨在为宁夏和西北砂田产业的健康发展和可持续利用提供理论与技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2010 年 4~9 月在宁夏回族自治区中卫市香山乡红圈子村进行。香山乡位于宁夏中部干旱带,是宁夏压砂地的集中地区,海拔高度为 1 500~2 631 m,年均温度 6.8℃,≥10℃ 积温 2 332.05℃,年辐射量为 567.06 kJ/cm<sup>2</sup>,平均年降水量为 247.4 mm,且约 70%降雨集中在 7~9 月份,而年蒸发量达到 2 172.3 mm,约为降水量的 10 倍,平均风速为 3.4 m/s,无霜期 146 d,年均日照时数 2 963 h,气候特点是春暖迟、夏秋短、秋凉早、冬寒长、干旱少雨,昼夜温差较大,农业生产属于农牧交错地带的旱农区,因此气候资源是宁夏压砂瓜品质形成的主要影响因素,但也是西瓜产量的主要限制因子。

### 1.2 试验材料

取样地选择西瓜→西瓜、西瓜→绿豆、西瓜→南瓜、西瓜→油葵、西瓜→西葫芦、西瓜→芝麻 6 种轮作模式地。除去地面植被和枯枝落叶,铲除表面 1 cm 左右的表土,以避免地面微生物与土样混杂;多点采取重量大体相当的土样于塑料布上,剔除石砾或植被残根等杂物,混匀后取 1.0 kg 装袋。

### 1.3 试验方法

1.3.1 土壤微生物测定 采用平板表面涂抹法:细菌用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基,真菌用马丁-孟加拉红培养基培养基,放线菌用改良高氏一号培养基,好气性纤维素分解菌用赫奇逊氏培养基,自生固氮菌用改良阿须贝无氮琼脂培养基。采用稀释法:嫌气性纤维素分解菌用奥曼梁斯基培养基,反硝化细菌用组合培养基,硝化细菌用改良斯蒂芬逊培养基。将涂好平板的培养皿放入 28℃ 的培养箱中培养,细菌培养 2~3 d,真菌培养 5~7 d,放线菌培养 7~10 d,好气性纤维素分解菌 14~18 d,自生固氮菌培养 7~10 d,嫌气性纤维素分解菌 14~18 d,反硝化细菌 14 d,硝化细菌 14 d,3 次重复。

1.3.2 土壤养分测定 pH 采用酸度计法;全盐采用电导仪测定;有机质采用重铬酸钾容量法;碱解氮采用扩散法;速效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠法,钼蓝比色;速效钾采用中性醋酸铵溶液浸提火焰光度法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 轮作模式下土壤理化性状

土壤质量可以从物理、化学和生物性状等角度进行评价,土壤质量的生物性状主要包括土壤养分、土壤微生物数量、土壤微生物多样性等指标。

由表 1 可知,土壤有机质含量西瓜→西葫芦最高,为 6.97 g/kg,西瓜→西瓜最低 5.97 g/kg,相对于对照,西瓜→西葫芦、西瓜→南瓜、西瓜→油葵、西瓜→芝麻、西瓜→绿豆分别增加了 16.75%、15.24%、8.54%、5.53%、0.84%;土壤碱解氮含量西瓜→南瓜最高,为 15.96 mg/kg,西瓜→绿豆最低,为 11.55 mg/kg,西瓜→南瓜、西瓜→西葫芦比对照增加了 6.90%、0.54%,西瓜→油葵、西瓜→芝麻、西瓜→绿豆分别比对照降低了 9.38%、17.55%、22.64%;速效磷含量西瓜→南瓜最高 1.51 mg/kg,西瓜→油葵最低 1.08 mg/kg,西瓜→南瓜、西瓜→绿豆、西瓜→芝麻、西瓜→西葫芦分别比对照增加了 26.89%、14.29%、10.08%、7.56%,西瓜→油葵比对照降低了 9.24%;速效钾含量西瓜→南瓜最高,为 123.34 mg/kg,西瓜→西瓜最低,为 73.33 mg/kg,西瓜→南瓜、西瓜→芝麻、西瓜→西葫芦、西瓜→油葵、西瓜→绿豆分别比对照增加了 68.20%、53.33%、41.37%、21.97%、16.35%。

表 1

轮作模式下土壤养分

种植类型	西瓜→西瓜	西瓜→绿豆	西瓜→南瓜	西瓜→油菜	西瓜→西葫芦	西瓜→芝麻
有机质/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	5.97±0.50c	6.02±0.28cd	6.88±0.34bc	6.48±0.93bc	6.97±0.24bc	6.30±0.71bc
碱解氮/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	14.93±3.18b	11.55±0.95b	15.96±0.51b	13.53±1.23b	15.01±1.68b	12.31±0.61b
速效磷/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	1.19±0.16d	1.36±0.27de	1.51±0.48c	1.08±0.18c	1.28±0.23c	1.31±0.14c
速效钾/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	73.33±1.58a	85.32±3.96a	123.34±12.47a	89.44±5.98a	103.67±12.29a	112.44±5.77a
pH	9.27±0.58c	8.75±1.26bc	9.05±0.28bc	8.65±1.00b	8.56±1.53bc	8.45±1.03b
全盐/ $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	0.59±0.07d	0.63±0.13e	0.38±0.24c	0.41±0.08c	0.62±0.23c	0.25±0.10c

pH、全盐变化幅度不大,pH 基本保持在 8.45~9.27,全盐保持在 0.25~0.63 g/kg。对于较贫瘠的砂田来说,有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的含量越高,土壤肥力就越高,就更加有利于作物的生长发育。因此,西瓜→南瓜的土壤养分含量高于其它 5 种植植模式。

## 2.2 轮作模式土壤理化性状与生物学性状的典型相关分析

土壤微生物承担着物质的转化功能,土壤微生物是土壤有机质的分解者和转化者,各种土壤生物以植物残体提供的有机质作为主要的能量来源,通过对有机质的

取食和分解实现有机质中养分的转化,进一步通过土壤生物所参与的 N、P 和其它元素的循环将有机质转化为植物所需的养分,进入植物新的组织;它是生态系统稳定性和可持续性的保障。

设土壤微生物数量为变量( $x$ ),土壤理化性状为变量( $y$ ),微生物指标:细菌( $x_1$ )、真菌( $x_2$ )、放线菌( $x_3$ )、自生固氮菌( $x_4$ )、好气性纤维素分解菌( $x_5$ )、反硝化细菌( $x_6$ )、硝化细菌( $x_7$ )、嫌气性纤维素分解菌( $x_8$ );土壤理化性状指标:有机质( $y_1$ )、碱解氮( $y_2$ )、速效磷( $y_3$ )、速效钾( $y_4$ )、pH( $y_5$ )、全盐( $y_6$ )。

表 2

不同轮作模式土壤微生物区系

种植类型	西瓜→西瓜	西瓜→绿豆	西瓜→南瓜	西瓜→油菜	西瓜→西葫芦	西瓜→芝麻
细菌/ $10^6 \text{CFU g}^{-1}$	1.07	1.14	4.17	0.52	1.53	1.60
真菌/ $10^3 \text{CFU g}^{-1}$	1.07	2.14	2.14	0.11	1.78	1.07
放线菌/ $10^5 \text{CFU g}^{-1}$	0.78	2.43	1.75	2.03	0.24	0.18
自生固氮菌/ $10^2 \text{CFU g}^{-1}$	0.57	6.35	2.14	1.85	0.38	1.20
硝化细菌/ $10^3 \text{CFU g}^{-1}$	140.00	0.80	3.00	16.00	4.00	1.10
反硝化细菌/ $10^3 \text{CFU g}^{-1}$	0.08	1.40	1.40	0.30	7.50	1.40
嫌气性纤维素分解菌/ $10^2 \text{CFU g}^{-1}$	1.40	4.00	30.00	1.50	1.00	2.00
好气性纤维素分解菌/ $10^2 \text{CFU g}^{-1}$	0.07	6.00	0.85	8.24	0.21	0.16

表 3

2 组变量典型相关分析

典型变量	典型相关系数	特征值	近似标准误	贡献率	累计贡献率	近似 F 值	自由度	Pr > F
1	0.8580	2.7906	0.0297	0.8082	0.8082	3.31	48	<.0001
2	0.4662	0.2777	0.0881	0.0804	0.8887	1.26	35	0.1609
3	0.3824	0.1713	0.0961	0.0496	0.9383	1.08	24	0.3682
4	0.3559	0.1450	0.0983	0.0420	0.9803	0.96	15	0.4942
5	0.2393	0.0607	0.1061	0.0176	0.9979	0.59	8	0.7849
6	0.0857	0.0074	0.1117	0.0021	1.0000	0.17	3	0.9130

由表 3 可知,第 I 对典型变量是土壤因子: $W1 = 0.1138y_1 + 0.8354y_2 + 0.3253y_3 - 0.0855y_4 - 0.0297y_5 + 0.1945y_6$ ,土壤微生物类群: $V1 = -0.0016x_1 + 0.0187x_2 + 0.6847x_3 - 0.0646x_4 + 0.1636x_5 + 0.2296x_6 + 0.6847x_7 + 0.3462x_8$ 。二者的相关系数为 0.8580,其特征值最大,累计百分比为 80.82%,土壤因子第 I 典型变量 W1 对土壤微生物类群第 I 典型变量 V1 之间具有显著的相关关系并且达到了极显著水平( $\alpha < 0.0001$ ),说明土壤因子第 I 典型变量 W1 对土壤微生物类群第 I 典型变量 V1 影响极大,在 W1 的线性组合中土壤碱解氮( $y_2$ )、速效磷( $y_3$ )和全盐( $y_6$ )负荷量分别为 0.8354、0.3253 和 0.1945,可见是土壤碱解氮、速效磷和全盐在第 I 典型变量中起主要作用,其它理化性质负荷量较小;微生物类群第 I 典型变量 V1 中起主要作用的土壤微生物类群是放线菌( $x_3$ )、硝化细菌( $x_7$ )和嫌气性纤维素分解菌( $x_8$ ),由此得出土壤碱

解氮、速效磷和全盐对放线菌、硝化细菌和嫌气性纤维素分解菌影响较大。从而 W1 与原始数据的相关系数可以看出,它与碱解氮( $y_2$ )、速效磷( $y_3$ )和全盐( $y_6$ )有较好的正相关,分别为 0.8354、0.3253 和 0.1945,可以理解为 W1 主要描述的是土壤化学性质的综合性状;对 V1 作类似的分析可知,它与放线菌( $x_3$ )、硝化细菌( $x_7$ )和嫌气性纤维素分解菌( $x_8$ )分别为 0.6847、0.6847 和 0.3462,它主要描述了土壤放线菌、硝化细菌和嫌气性纤维素分解菌微生物的密度变化。

其它典型变量的相关性显著性程度检验均低于显著性标准,相关性系数均在 0.5000 以下,这 5 对典型变量相关性不显著,它们没有表现出明显的相关关系。

## 3 结论与讨论

西瓜→南瓜的土壤养分含量高于其它 5 种轮作模

式,初步得出,在这6种模式中,西瓜→南瓜能够减缓压砂地土壤养分的耗尽,从而减缓压砂地的衰老,延长压砂地使用年限。

微生物类群中影响土壤理化性状的主要是土壤微生物类群中的放线菌、硝化细菌数量和纤维素分解菌,而土壤理化性状中影响微生物类群密度的是土壤理化性状中的碱解氮、速效磷和全盐含量。

该研究结果与董艳等<sup>[7]</sup>得出的与连作相比,轮作更有利于作物根系生长和对土壤的养分吸收,从而促进微生物的生长和繁殖结果一致。但该研究就以这6种轮作模式做了探讨,具有一定的局限性,更广泛、更合理的轮作模式有待进一步的研究。同时采样时间和分离方法等条件因素也会对土壤微生物种类、数量和分布产生一定的影响,环境中的温度和降雨量也会对土壤理化性状和土壤微生物种类产生一定的影响,这方面的影响有待进一步的研究。

## 参考文献

- [1] 许强,强力,吴宏亮,等.砂田水热及减尘效应研究[J].宁夏大学学报(自然科学版),2009,30(2):180.
- [2] 赵燕,李成军,康建宏,等.砂田的发展及其在宁夏的应用研究[J].农业科学研究,2009,30(2):35.
- [3] 康建宏,吴宏亮,丁秀玲,等.压砂地西瓜适宜补水量研究[J].农业科学研究,2010,31(2):1.
- [4] 许强,吴宏亮,康建宏,等.旱区砂田肥力演变特征[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):37-41.
- [5] 杨海君,肖启明,刘安元,等.土壤微生物多样性及其作用研究进展[J].南华大学学报(自然科学版),2005,19(4):21.
- [6] 胡景田,马琨,王占军,等.荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响[J].水土保持通报,2010,30(3):53.
- [7] 董艳,鲁耀,董坤,等.轮作模式对设施土壤微生物区系和酶活性的影响[J].土壤通报,2010,41(1):53.

(该文作者还有尹冠华,单位同第一作者。)

## Study on the Relationship Between Soil Physical and Chemical Properties and Soil Microbial in Different Rotation Mode of Gravel Mulched Field

ZHAO Ya-hui, WU Hong-liang, KANG Jian-hong, XU Qiang, YAO Shan, YANG Jin-juan, YIN Guan-hua  
(College of Agricultural, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

**Abstract:** Taking watermelon→watermelon, watermelon→mung bean, watermelon→pumpkin, watermelon→oil sunflower for example, the soil physical and chemical properties of gravel mulched field in Xiangshan area, Zhongwei City, Ningxia Hui Autonomous Region were studied. Its relationship with soil microbial traits was explored using canonical correlation analysis. The results showed that: Watermelon→pumpkin soil nutrient content was higher than the other five rotation modes, watermelon→pumpkin will slow down the gravel mulched field soil nutrient depletion in these six modes, thereby slowing the aging of the gravel mulched field, to extend the use of gravel mulched field life. Combination of the six rotation modes of soil physical and chemical properties and traits of microbial 14 indicators, canonical correlation analysis showed that soil physical and chemical properties that affect the microbial groups mainly actinomycetes in the soil microbial groups, the number of nitrifying bacteria and cellulose decomposing bacteria soil physical and chemical properties that affect the density of microbial population in soil physical and chemical properties of nitrogen, available phosphorus and total salt content.

**Key words:** soil microbial; soil physical and chemical properties; canonical correlation analysis