

连作对马铃薯根系形态及吸收能力的影响

张文明^{1,2}, 邱慧珍^{1,2}, 刘星^{1,2}, 张俊莲^{2,3,4}, 王蒂^{2,3,4}

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省干旱生境作物学重点实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 研究了不同连作年限对马铃薯根系形态和养分吸收能力的影响。结果表明, 连作降低了马铃薯根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积, 连作3年、4年和5年的根系活力比轮作分别下降了53.71%、66.84%和66.69%, 活跃吸收面积分别下降了57.6%、75.7%和75.6%, 总吸收面积分别下降了51.4%、67.9%和67.6%; 连作明显增加了0~0.5 mm和0.5~1.0 mm直径范围内的总根长、表面积、根体积和根尖数, 连作3年、4年和5年在0~0.5 mm直径范围内的总根长和根尖数比轮作分别显著增加了24.9%、35.0%、35.4%和13.4%、21.0%、23.1%; 连作1年和2年地块的块茎产量差异不显著, 但连作3年后块茎产量较轮作下降了45%以上。由此可见, 在当地生态环境和栽培及品种条件下连作的阈值年限可能为2年, 马铃薯根系吸收能力的下降是导致产量下降的主要原因之一, 根系生长增加是马铃薯应对连作逆境的主动性适应机制。

关键词: 马铃薯; 连作; 根系形态; 吸收能力

中图分类号: S532.047 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)01-0034-04

Effects of continuous cropping on morphology characteristics and absorptive capacity of potato root

ZHANG Wen-ming^{1,2}, QIU Hui-zhen^{1,2}, LIU Xing^{1,2}, ZHANG Jun-lian^{2,3,4}, Wang Di^{2,3,4}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China;

2. Gansu Province Key Laboratory of Arid land Crop Science, Lanzhou 730070, China;

3. Gansu Province Key Laboratory of Crop Genetic & Germplasm Enhancement, Lanzhou 730070, China;

4. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A field experiment was conducted to understand the mechanism underlying the reduction in potato yield under continuous cropping. The results showed that the activity of root system, root active absorption area, and total root absorption area were reduced as the continuous cropping year increased. Compared with rotation cropping, the activity of root system under continuous cropping for 3, 4, and 5 years decreased by 53.71%, 66.84%, and 66.69%, respectively, and similarly the root active absorbing by 57.6%, 75.7%, and 75.6%, and the total root absorbing by 51.4%, 67.9%, and 67.6%. The total root length, root surface area, root volume, and root tip number in root diameter of 0~0.5 mm and 0.5~1.0 mm obviously increased under continuous cropping. The tuber yield was no significantly different between 1 year and 2 years of continuous cropping, while it decreased by more than 45% compared with rotation cropping for 3 years of continuous cropping. It is thus suggested that the threshold of potato continuous cropping be no more than 2 years in the target area. In addition, the reduction in nutrient absorptive capacity and the increase in root growth increase were responsible for the yield loss of potato under continuous cropping.

Keywords: potato; continuous cropping; root morphology; absorptive capacity

马铃薯 (*Solanum tuberosum*) 是世界公认的全价食品, 是位居小麦、玉米和水稻之后的世界第四大粮

食作物^[1], 是甘肃省第三大粮食作物。甘肃省是我国重要的马铃薯种薯和商品薯基地以及淀粉加工基

收稿日期: 2013-05-05

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200803031, 201103004); 国家马铃薯产业技术体系(CARS-10-P18)和甘肃省科技重大专项(1102NKDA025)资助

作者简介: 张文明(1980—), 男, 甘肃会宁人, 在读博士, 主要从事营养生态的教学与科研工作。E-mail: zhangwm@gsau.edu.cn。

通信作者: 邱慧珍(1961—), 女, 博士, 教授, 主要从事植物营养和营养生态的教学与科研工作。E-mail: hzqiu@gsau.edu.cn。

地^[2-3],近3年马铃薯种植面积稳定在 $6.4 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 以上,连续10年种植面积和总产量稳居全国第二和第一,马铃薯生产已成为甘肃省带动农业和农村经济发展,促进农业增效、农民增收的战略性主导产业。由于马铃薯不耐连作,因而应避免重茬和迎茬种植^[4]。但随着马铃薯产业的快速发展和种植效益的不断提高,马铃薯连作现象十分普遍,连作障碍问题日益凸显,产量和品质大幅下降,严重阻碍了马铃薯产业的健康、高效和可持续发展。

根的直径和根序为根系的重要结构特征^[5]。多数研究认为,细根为直径 $\leq 2 \text{ mm}$ 或 5 mm 的根系,在结构和生理上与中根和粗根基本相同。但也有一些学者认为,不同径级的细根功能有所差异。因此在根系特征的统计上又细分为 $0.0 \sim 0.5$ 、 $0.5 \sim 1.0$ 、 $1.0 \sim 1.5 \text{ mm}$ 和 $1.5 \sim 2.0 \text{ mm}$ 或 $0 \sim 1$ 、 $1 \sim 2 \text{ mm}$ 和 $2 \sim 5 \text{ mm}$ 等不同直径等级^[6-7]。采用上述径级分类方法在研究细根形态特征时,尤其是研究细根的生产 and 周转时相对简便,因此在很多研究中得到应用^[8]。

目前,有关连作障碍的研究大多集中在设施蔬菜^[9-10]、瓜果^[11-12]、大豆^[13-15]和中药材^[16-18]等作物上,但近年来随着马铃薯产业的发展和连作问题的出现,马铃薯连作障碍的研究也越来越受到关注,而有关马铃薯连作障碍机理的研究大都集中在对土壤养分^[19]、土壤酶^[20]和土壤微生物^[21]等的变化方面,有关马铃薯连作后植株根系吸收能力、根系形态,特别是不同直径范围内的根系形态的变化还未见报道。为此,本研究通过在甘肃省景泰县布置马铃薯连作试验,对不同连作年限的马铃薯进行了吸收能力和不同直径范围内根系形态指标方面的研究,以期对马铃薯连作障碍的机理研究提供帮助。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

大田试验于2010年4—8月在位于甘肃省中部沿黄灌区的白银市景泰县条山农场($103^\circ 33' \sim 104^\circ 43' \text{ E}$, $36^\circ 43' \sim 37^\circ 38' \text{ N}$)进行。境内海拔 $1\ 274 \sim 3\ 321 \text{ m}$,属温带大陆性干旱气候,年均温 9.1° C ,无霜期 141 d 。年均降水量 185.6 mm ,年均蒸发量 $1\ 722.8 \text{ mm}$,年均日照时数 $2\ 713 \text{ h}$,光热资源丰富,日照百分率 62% ,太阳年均辐射量 $147.8 \text{ kCal} \cdot \text{ m}^{-2}$, $\geq 0^\circ \text{ C}$ 年均活动积温 $3\ 614.8^\circ \text{ C}$, $\geq 10^\circ \text{ C}$ 有效积温 $3\ 038^\circ \text{ C}$ 。供试土壤为灰钙土,有机质 $10.1 \text{ g} \cdot \text{ kg}^{-1}$,全氮 $0.71 \text{ g} \cdot \text{ kg}^{-1}$,碱解氮 $66 \text{ mg} \cdot \text{ kg}^{-1}$,速效磷 $14 \text{ mg} \cdot \text{ kg}^{-1}$,速效钾 $193 \text{ mg} \cdot \text{ kg}^{-1}$,pH值 8.08 (水土比 $5:1$)。当地水

源充足,农业灌溉条件良好。

1.2 试验设计

在条山农场马铃薯种植区域内选择不同连作年限的相邻地块进行田间试验,以前茬为玉米的轮作地块为对照(用 L_0 表示),其余依次为连作1年(L_1)、2年(L_2)、3年(L_3)、4年(L_4)和5年(L_5)。所选地块地势平坦、肥力均匀。每处理3次重复,小区面积 54.9 m^2 ($9 \text{ m} \times 6.1 \text{ m}$),采用宽垄双行覆膜种植,垄宽 1.35 m ,行距 70 cm ,株距 17 cm ,种植密度 $84\ 075 \text{ 株} \cdot \text{ hm}^{-2}$ 。播种、施肥和覆膜均采用机械化一次完成。不施有机肥,氮肥用量为 $210 \text{ kg} \cdot \text{ hm}^{-2}$, $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 1.4:1.0:2.0$,化肥用 $15-15-15$ 的复合肥、尿素和硫酸钾。所有化肥均在播种时一次性基施,田间管理措施同当地大田。4月25日播种,播种前一天切种薯,并用高锰酸钾浸泡消毒,8月25日收获。供试品种为当地主栽的加工型马铃薯品种“大西洋”一级种,由条山农场提供。

1.3 样品采集

在马铃薯产量形成的关键时期——块茎膨大期(7月30日)采集植株样品,每小区15株,选好植株后,按行方向在离植株 35 cm 处用铁锹挖 60 cm 深的剖面,然后用水冲洗出整株植株,用剪刀将根系剪下并冲洗干净,将地上和地下部分别装入冰盒中带回实验室用于根系形态指标和吸收能力指标的测定。成熟期对各地块块茎产量进行实测计产。

1.4 测定项目与方法

根系形态指标用加拿大产 Win RHIZO™ 2009 根系扫描与分析系统测定;根系活力测定用氯化三苯基四氮唑(TTC)法,根系吸收面积采用甲烯蓝吸附法测定^[22]。

1.5 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行数据统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 连作对马铃薯根系吸收能力的影响

根系活力泛指根系的吸收能力、合成能力、氧化能力和还原能力等,是能较客观地反映根系生命活动的生理指标^[23],因此本研究对不同连作年限下马铃薯根系活力、根系活跃吸收面积和总吸收面积进行了测定(表1)。

从表1可以看出,连作降低了马铃薯根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积,且有连作年限越长,根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积越小的趋势;特别是从连作3年开始,根系活力、活跃吸收面积和总

表 1 连作对马铃薯根系吸收能力的影响

Table 1 Effect on root absorptive capacity of potato continuous cropping

| 处理(连作年限) Treatments (Continuous cropping years) | 根系活力 Activity of root system $/(\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\text{FW})$ | 根系活跃 吸收面积 Root active absorbing area/ m^2 | 根系总 吸收面积 Total root absorbing areas/ m^2 |
|--|---|--|---|
| I_0 (CK) | 354.23a | 2.05a | 3.21a |
| L_1 (1 a) | 346.76a | 1.98a | 3.34a |
| L_2 (2 a) | 343.24a | 1.05b | 3.11ab |
| L_3 (3 a) | 163.97b | 0.87bc | 1.56b |
| L_4 (4 a) | 117.46c | 0.54c | 1.03c |
| L_5 (5 a) | 118.07c | 0.50c | 1.04c |

注:不同小写字母表示处理间差异显著性($P < 0.05$),下同。

Notes: Different letters indicate significant difference at the probable level of $P < 0.05$. The same below.

吸收面积显著下降。较轮作相比,连作 3 年、4 年和 5 年的根系活力分别下降了 53.71%、66.84% 和 66.69%,活跃吸收面积分别下降了 57.6%、75.7% 和 75.6%,总吸收面积分别下降了 51.4%、67.9% 和

67.6%。由此表明,短时间的连作对马铃薯植株根系活性不会造成显著影响,但连作年限超过一定阈值(2 年)将导致马铃薯植株根系活性的严重下降。

2.2 连作对马铃薯根系生长的影响

从表 2 可以看出,相对于轮作,连作明显增加了 0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 直径范围内的总根长、表面积、根体积和根尖数;且有连作年限越长,0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 直径范围内的总根长、表面积、根体积和根尖数越大的趋势;特别是从连作 3 年开始,0~0.5 mm 直径范围内的总根长和根尖数显著增加,相对于轮作,连作 3 年、4 年和 5 年在 0~0.5 mm 直径范围内的总根长和根尖数增加了 24.9%、35.0%、35.4% 和 13.4%、21.0%、23.1%。由此说明,连作刺激了马铃薯根系生长,短时间的连作对马铃薯根系生长不会造成显著影响,但连作年限超过一定阈值(2 年)将导致马铃薯根系生长的显著增加,特别是刺激了 0~0.5 mm 和 0.5~1.0 mm 直径范围内的根系生长,这与前面根系活性的结果相对应。

表 2 连作对马铃薯不同直径范围内根系生长的影响

Table 2 Variation of root morphological traits with different diameters under continuous cropping

| 项目 Items | 处理 Treatments | 根直径 Root diameter/mm | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | | 0~0.5 | 0.5~1.0 | 1.0~1.5 | 1.5~2.0 | 2.0~2.5 | 2.5~3.0 | 3.0~3.5 | 3.5~4.0 | 4.0~4.5 | >4.5 |
| 总根长 Total root length/cm | I_0 | 216.56c | 69.88b | 38.67b | 23.07a | 18.11a | 14.46a | 8.93a | 7.83a | 5.48a | 19.51a |
| | L_1 | 254.30abc | 74.61b | 42.6ab | 23.40a | 17.57a | 13.30a | 9.11a | 7.28a | 6.00a | 17.47a |
| | L_2 | 241.98bc | 79.24b | 44.64ab | 24.97a | 17.32a | 13.77a | 10.74a | 7.81a | 5.57a | 18.29a |
| | L_3 | 270.54ab | 83.78ab | 48.01a | 24.44a | 17.51a | 14.74a | 9.32a | 7.59a | 5.97a | 19.60a |
| | L_4 | 292.36a | 99.28a | 49.22a | 26.36a | 19.07a | 12.74a | 9.13a | 6.84a | 5.09a | 20.98a |
| | L_5 | 293.17a | 99.92a | 47.34ab | 26.34a | 19.15a | 2.45a | 9.39a | 7.00a | 5.11a | 21.52a |
| 表面积 Surface area/ cm^2 | I_0 | 14.34b | 16.06b | 15.05b | 12.55a | 12.65a | 12.46a | 9.09a | 9.19a | 7.31a | 39.46a |
| | L_1 | 16.23b | 17.07b | 16.57b | 12.73a | 12.30a | 11.44a | 9.25a | 8.55a | 7.99a | 35.17a |
| | L_2 | 16.07b | 18.20b | 17.26b | 13.61a | 12.13a | 11.86a | 10.92a | 9.13a | 7.41a | 37.38a |
| | L_3 | 16.05b | 19.39ab | 18.64b | 13.27a | 12.27a | 12.70a | 9.50a | 8.87a | 7.96a | 40.25a |
| | L_4 | 18.62a | 22.90a | 18.99a | 14.32a | 13.31a | 10.92a | 9.28a | 8.01a | 6.79a | 44.01a |
| | L_5 | 19.11a | 22.94a | 18.26b | 14.32a | 13.36a | 10.66a | 9.55a | 8.19a | 6.82a | 44.64a |
| 根体积 Root volume $/\text{cm}^3$ | I_0 | 0.10b | 0.31b | 0.47a | 0.55a | 0.71a | 0.86a | 0.74a | 0.86a | 0.78a | 6.94a |
| | L_1 | 0.11ab | 0.32b | 0.52a | 0.55a | 0.69a | 0.79a | 0.75a | 0.80a | 0.85a | 6.09a |
| | L_2 | 0.12ab | 0.35b | 0.54a | 0.59a | 0.68a | 0.82a | 0.89a | 0.85a | 0.79a | 6.57a |
| | L_3 | 0.12ab | 0.37ab | 0.58a | 0.58a | 0.69a | 0.87a | 0.77a | 0.83a | 0.84a | 7.16a |
| | L_4 | 0.13a | 0.44a | 0.59a | 0.62a | 0.74a | 0.75a | 0.75a | 0.75a | 0.72a | 7.99a |
| | L_5 | 0.14a | 0.44a | 0.57a | 0.62a | 0.75a | 0.73a | 0.77a | 0.77a | 0.72a | 7.97a |
| 根尖数 Number of root tips | I_0 | 1981.80b | 45.53a | 12.73a | 5.53a | 4.87a | 3.47a | 1.60a | 0.87a | 1.20a | 1.90a |
| | L_1 | 2206.87b | 45.467a | 13.20a | 6.73a | 3.80a | 2.93a | 1.20a | 1.13a | 1.13a | 2.33a |
| | L_2 | 2216.53b | 44.38a | 13.62a | 5.73a | 4.12a | 1.80a | 1.67a | 0.77a | 1.12a | 2.12a |
| | L_3 | 2248.33a | 40.67a | 11.93a | 5.40a | 2.87a | 1.87a | 1.53a | 1.27a | 0.67a | 1.80a |
| | L_4 | 2397.51a | 39.22a | 13.11a | 6.07a | 3.02a | 1.96a | 1.31a | 1.16a | 0.69a | 1.67a |
| | L_5 | 2439.20a | 39.20a | 12.87a | 6.00a | 3.00a | 1.80a | 1.27a | 1.20a | 0.73a | 1.67a |

2.3 连作对马铃薯产量的影响

如图1所示,同轮作相比,连作1年和2年地块的块茎产量差异不显著,但从连作3年开始,块茎产量较轮作出现显著的下降,其降幅在连作3年、4年和5年的地块分别高达45.40%、56.23%和56.44%。这与前面根系形态和活性指标的变化相对应,由此也可以推测,连作2年可能是在当地生态环境和栽培及品种条件下马铃薯连作的阈值年限。

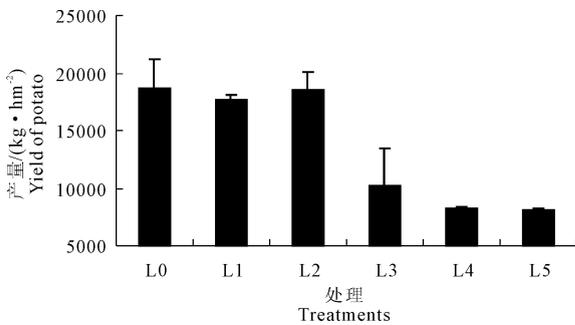


图1 不同连作年限马铃薯产量的变化

Fig.1 Yield of potato for different continuous cropping years

3 讨论

本研究发现,连作降低了马铃薯根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积,这与吴凤芝等在连作大棚番茄^[27]和黄瓜^[28]上的研究结果相一致,而与赵晓萌^[29]等在西洋参上的研究结果相反。短时间的连作对马铃薯植株根系活性不会造成显著影响,而连作年限超过3年将导致马铃薯植株根系活性的严重下降。产生这种现象的原因可能是马铃薯在连作下,由于土壤养分^[19]、土壤酶^[20]和土壤微生物^[21]等胁迫作用降低了根系的活性,导致马铃薯根系吸收能力下降,从而导致马铃薯产量的下降,这与马铃薯产量结果相一致。

不同直径范围根系的吸收能力存在差别,一般认为细根的吸收能力强于粗根^[30]。本研究发现,连作刺激了马铃薯根系生长,明显增加了0~0.5 mm和0.5~1.0 mm直径范围内的总根长、表面积、根体积和根尖数,特别是连作年限超过3年导致0~0.5 mm和0.5~1.0 mm直径范围内的根系生长显著增加。这是由于连作降低了根系活力、活跃吸收面积和总吸收面积,导致根系吸收能力下降,而根系为了维持植株正常生长,通过刺激根系,特别是0~0.5 mm和0.5~1.0 mm直径范围内根系的生长来获取更多的养分和水分来满足植株的生长需求。由此表明,根系生长增加是马铃薯应对连作逆境的主动性适应机制。

参考文献:

- [1] 谢从华. 马铃薯产业的现状与发展[J]. 华中农业大学学报, 2012, 97(1): 1-4.
- [2] 吴正强, 岳云, 赵小文, 等. 甘肃省马铃薯产业发展研究[J]. 中国农业资源与区划, 2008, 32(6): 67-72.
- [3] 何三信, 文国宏, 王一航, 等. 甘肃省马铃薯产业现状及提升措施建议[J]. 中国马铃薯, 2010, 24(1): 54-57.
- [4] 王树安. 作物栽培学理论[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 239.
- [5] Fitter A H. Characteristics and functions of root systems[C]//Waisel Y, Eshel E, Kafkafi U. Plant Roots: the Hidden Half 2nd edn. New York: Dekker, 1996: 1-20.
- [6] Pregitzer KS, Kubiske ME, Yu CK, et al. Relationships among root branch order, carbon, and nitrogen in four temperate species[J]. Oecologia, 1997, 111: 302-308.
- [7] Wells CE, Glenn DM, Eissenstat DM. Changes in the risk of fine-root mortality with age: a case study in peach, *Prunus persica* (Rosaceae) [J]. American Journal of Botany, 2002, 89: 79-87.
- [8] 温达志, 魏平, 孔国辉, 等. 鼎湖山南亚热带森林细根生产力与周转[J]. 植物生态学报, 1999, 23: 361-369.
- [9] 王芳, 王敬国. 连作对茄子苗期生长的影响研究[J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 79-81.
- [10] 吴凤芝, 王学征. 设施黄瓜连作和轮作中土壤微生物群落多样性的变化及其与产量品质的关系[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2274-2280.
- [11] 李坤, 郭修武, 郭印山, 等. 葡萄根系浸提液的化感作用[J]. 应用生态学报, 2010, 21(7): 1779-1784.
- [12] 赵萌, 李敏, 王森焱, 等. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 微生物学通报, 2008, 35(8): 1251-1254.
- [13] 苗淑杰, 乔云发, 韩晓增. 大豆连作障碍的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(3): 203-206.
- [14] 阮维斌, 王敬国, 张福锁. 连作障碍因素对大豆养分吸收和固氮作用的影响[J]. 生态学报, 2003, 23(1): 22-29.
- [15] 李春格, 李晓鸣, 王敬国. 大豆连作对土体和根际微生物群落功能的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(4): 1144-1149.
- [16] 张重义, 陈慧, 杨艳会, 等. 连作对地黄根际土壤细菌群落多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2843-2848.
- [17] 吴宗伟, 王明道, 刘新育, 等. 重茬地黄土壤酚酸的动态积累及其对地黄生长的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 660-664.
- [18] 郝慧荣, 李振方, 熊君. 连作怀牛膝根际土壤微生物区系及酶活性的变化研究[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(2): 307-311.
- [19] 胡宇, 郭天文, 张绪成. 旱地马铃薯连作对土壤养分的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(12): 5436-5439.
- [20] 白艳茹, 马建华, 樊明寿. 马铃薯连作对土壤酶活性的影响[J]. 作物杂志, 2010, (3): 34-36.
- [21] 杜茜, 卢迪, 马琨. 马铃薯连作对土壤微生物群落结构和功能的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(7): 1252-1256.
- [22] 袁晓华, 杨中汉. 植物生理生化实验[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.

从夏播、秋播分析看(表 5),不同处理的总产值均与对照 G、H(蔬菜单作)达极显著差异($P < 0.01$);两年中,B 处理的夏播蔬菜在所有间作处理中产值最高,分别达到 55 758 元· hm^{-2} 和 67 377 元· hm^{-2} 。2004 年,间套作处理秋播蔬菜产值低于对照(G、H)的原因,是甜玉米收获后种植的秋播作物苕子,在当地作为绿肥,不作为商品出售,没有计算经济产值,所以产值降低;到 2005 年,不同处理的秋播蔬菜产值高于对照 G、H,并达到极显著差异($P < 0.01$)。无论是夏播还是秋播,2:4 带型的 B、E 处理,其产值较高,分别比单作处理 G 和 H 高了 129% 和 161%,是所有间套作处理中效益最好的,B 处理效果最为理想。

3 讨论与结论

由于本试验选择的蔬菜种类,充分考虑了不同作物种类的生长发育差异及在当地的销售状况,在利用不同作物间套作的互补效应的同时,也利用了人们生活水平提高后,对不同蔬菜的需要,而提高了作物对土地资源和光热资源的利用效率及种植农作物的效益。

通过研究表明,甜玉米与其它蔬菜间套作后的总产值及经济效益均比单独的蔬菜单作高。其中,在甜玉米与不同蔬菜间套作的 6 个处理中,2 行甜玉米 || 4 行甘蓝/4 行莴笋—苕子 || 2 行甜脆豌豆/荞麦→2 行甜玉米 || 4 行甘蓝/4 行莴笋—2 行萝卜 || 8 行洋葱/2 行莴笋(带型 2:4,带宽 2.3 m)的处理 B 产量及经济效益最高,其次是 2 行甜玉米 || 4 行辣椒—苕子 || 2 行甜脆豌豆/荞麦→2 行甜玉米 || 4 行辣椒—2 行萝卜 || 11 行大蒜/2 行莴笋(带型 2:4,带宽 2.3 m)的处理 E 较高。由于不同蔬菜作物市场价格差异较大,因此,本试验旨在分析研究不同行

比模式的产值效益,在此基础上筛选具体种植方式。结果表明,2:4 带型的种植模式在提高经济产量及效益方面效果显著,可作为较佳种植模式在生产上推广运用,而对于各种具体间套复种模式的效益有待进一步研究。他人研究主要集中于固定行比的环境生态效应^[7-8]、土壤养分利用^[9]、病虫害控制^[10-11]等方面,而本研究通过调整间作行比及结合间套复种,综合分析比较种植模式的年经济效益,为蔬菜种植区提供更为合理间套复种种植措施和制度。

参考文献:

- [1] 王立祥,李 军.农作学[M].北京:科学出版社,2003.
- [2] 卢良恕.中国立体农业概论[M].成都:四川科学技术出版社,1999.
- [3] Rao M R, Rego T J, Willey R W. Response of Cereals to nitrogen in mono cropping and intercropping with different legumes[J]. Plant and Soil, 1987,101: 167-177.
- [4] 宋辰生,刘和吉,田绪臣.洋葱、生菜、玉米、芸豆、夏白菜、香菜立体高效种植[J].农村经济与科技,2001,12(8):16.
- [5] 杨仁彪,王桂荣.春玉米套种大白菜高产高效栽培技术[J].中国农技推广,2001,(1):400.
- [6] 吴 琼,杜连凤.蔬菜间作对土壤和蔬菜硝酸盐累积的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(8):1623-1629.
- [7] 李学敏.夏玉米辣椒间作的植群生态效应研究[J].河北农业科学,1994,(4):25-27.
- [8] 傅志兴,杨 静,湛方栋,等.玉米与蔬菜间作削减农田径流污染的分析[J].环境科学研究,2011,24(11):1069-1275.
- [9] 李淑敏,李 隆,张福锁.蚕豆/玉米间作接种 AM 真菌与根瘤菌对其吸磷量的影响[J].中国生态农业学报,2005,13(3):136-139.
- [10] 安瞳昕,代 平,吴伯志,等.甜玉米间作蔬菜对主要病虫害的控制效果研究[J].云南农业大学学报,2011,26(5):449-453.
- [11] Zhu Y, Chen H, Fan J, et al. Genetic diversity and disease control in rice[J]. Nature, 2000,406:718-722.

(上接第 37 页)

- [23] 斯琴巴特尔,吴红英.不同逆境对玉米幼苗根系活力及硝酸还原酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2001,19(2):67-69.
- [24] 吴凤芝,黄彩红,赵凤艳.酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性的影响[J].中国农业科学,2002,35(7):821-825.
- [25] 杜秀敏,殷文璇,赵彦修,等.植物中活性氧的产生及清除机制[J].生物工程学报,2001,17(2):121-124.
- [26] 郭泽建,李德葆.活性氧与植物抗病性[J].植物学报,2000,42(9):881-891.
- [27] 吴凤芝,栾非时,王东凯,等.大棚黄瓜连作对根系活力及其根

- 际土壤酶活性影响的研究[J].东北农业大学学报,1996,27(3):255-258.
- [28] 吴凤芝,刘德葆,王东凯,等.大棚番茄不同连作年限对根系活力及其品质的影响[J].东北农业大学学报,1997,28(1):33-38.
- [29] 赵晓萌,张雪松,祁建军,等.连作对西洋参根系生长及酶活性的影响[J].中国农学通报,2009,25(13):103-107.
- [30] Sullivan W M, Jiang Z C, Hull R J. Root morphology and its relationship with nitrate uptake in Kentucky bluegrass[J]. Crop Sci, 2000,40(3):765-772.