

许仙菊, 姜晓蕊, 陈丹艳, 等. 耐连作甘薯品种的筛选及薯块氮、磷、钾营养状况分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(3): 657-664.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2023.03.005

耐连作甘薯品种的筛选及薯块氮、磷、钾营养状况分析

许仙菊¹, 姜晓蕊², 陈丹艳², 田茂尚³, 冯冰¹, 钟月华¹, 汪吉东¹, 张永春¹

(1.江苏省农业科学院农业资源与环境研究所/农业农村部江苏耕地保育科学观测实验站, 江苏 南京 210014; 2.金陵科技学院园艺园林学院, 江苏 南京 210038; 3.安徽省宿州市泗县农业科学研究所, 安徽 宿州 234399)

摘要: 连作障碍严重制约了甘薯产业的发展, 为了筛选适宜在甘薯连作障碍地生长的甘薯品种, 本研究通过大田试验, 在安徽泗县甘薯连作 15 年的连作障碍地块和相邻未种过甘薯的正常地块, 分别种植 26 个代表性甘薯品种, 分析了这些甘薯品种分别在连作障碍地块和正常地块的产量和薯块的氮、磷、钾含量。结果表明: (1) 连作障碍使甘薯产量显著降低。通过计算障碍地与正常地甘薯产量的比值, 并结合聚类分析, 筛选出 1 个强耐连作甘薯品种(苏 33), 4 个中耐连作甘薯品种(徐 A1-144、徐 D1-95、宁紫 1 号、徐 B21-38), 其他 21 个品种不耐连作障碍; (2) 连作障碍使薯块的氮和磷含量增加, 钾含量降低; (3) 不同甘薯品种的耐连作能力与正常地块的薯块氮、磷、钾含量之间呈显著正相关。本研究结果为甘薯种植和耐连作甘薯新品种选育提供了种质资源, 也为解析甘薯连作障碍机制提供了理论依据, 有助于甘薯产业高质量发展。

关键词: 甘薯; 耐连作能力; 氮; 磷; 钾

中图分类号: S531 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2023)03-0657-08

Screening of sweetpotato cultivars resistant to continuous cropping and analysis of nitrogen, phosphorus and potassium in the tuber

XU Xian-ju¹, JIANG Xiao-rui², CHEN Dan-yan², TIAN Mao-shang³, FENG Bing¹, ZHONG Yue-hua¹, WANG Ji-dong¹, ZHANG Yong-chun¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Scientific Observing and Experimental Station of Arable Land Conservation of Jiangsu Province, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China; 2. College of Horticulture, Jinling Institute of Technology, Nanjing 210038, China; 3. Sixian Institute of Agricultural Sciences, Suzhou 234399, China)

Abstract: Continuous cropping obstacle has seriously restricted the healthy development of sweetpotato industry. In order to screen sweetpotato cultivars suitable for continuous cropping obstacle soil, 26 representative sweetpotato cultivars were planted on fifteen years sweetpotato continuous cropping obstacle soil and healthy soil, respectively. The yield and the contents of nitrogen, phosphorus and potassium of these sweetpotato cultivars were analyzed. The results showed that the continuous cropping obstacle significantly reduced the yield of sweetpotato. By calculating the ratio of sweetpotato yield between continuous cropping obstacle soil and healthy soil and combining cluster analysis, one sweet potato cultivar (Su 33)

with strong tolerance to continuous cropping, four sweetpotato cultivars (Xu A1-144, Xu D1-95, Ning Zi 1, Xu B21-38) with moderate tolerance to continuous cropping, and other 21 cultivars with no tolerance to continuous cropping were screened out. The continuous cropping obstacle increased the content of nitrogen and phosphorus, and decreased the content of potassium in sweetpotato. There was a significant positive correlation between the tol-

收稿日期: 2022-08-04

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目[CX(20)3083]; 国家甘薯产业技术体系项目(CARS-10); 科技基础资源调查专项(2021FY100500)

作者简介: 许仙菊(1976-), 女, 山西绛县人, 博士, 副研究员, 主要从事土壤质量方面的研究。(E-mail) xuxianju76@163.com

通讯作者: 张永春, (E-mail) yczhang66@sina.com

erance to continuous cropping obstacles of different sweetpotato cultivars and the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in the tubers planted on healthy soil. The results of this study provide germplasm resources for sweetpotato cultivation and cultivars selection, as well as theoretical basis for understanding and analyzing the obstacle mechanism of continuous cropping of sweetpotato, which is conducive to the high-quality development of sweetpotato industry.

Key words: sweetpotato; continuous cropping tolerance; nitrogen; phosphorus; potassium

随着经济的快速发展,集约化种植已成为中国农业生产的重要模式之一,相应的作物连作现象越来越多。连作常导致一些作物生长发育不良、产量和品质下降、土传病害严重等问题发生,极大地威胁农业生产的可持续性。甘薯是重要的粮食、饲料和能源植物,它对土壤条件要求较低,可以耐受多种土壤逆境,在多种土壤类型上均能广泛种植,对于保障国家粮食安全和能源稳定具有重要意义^[1]。由于甘薯脱氢表雄甾酮含量高,可以预防多种癌症,甘薯还被誉为“抗癌之王”。据统计,2020 年中国甘薯产量为 2.3239×10^7 t,占世界甘薯产量的 30%。甘薯在中国粮食作物中产量排名第 4。近年来,随着甘薯种植业的快速发展,甘薯种植面积不断扩大,多年连作越来越多,导致甘薯产量和品质降低、自毒物质积累、土传病害频发、土壤微生态系统破坏,甘薯连作障碍问题日益突出^[2]。连作障碍严重制约了甘薯产业的健康发展,已成为甘薯种植业中的突出问题之一,亟需研发克服甘薯连作障碍的技术。

虽然连作障碍已成为甘薯生产中的一个突出问题,但是相对于蔬菜瓜果和豆科作物的连作障碍研究,针对甘薯连作障碍的研究不多。目前对甘薯连作障碍方面的研究主要集中于化学防控剂(如肥料、菌剂、杀线剂等)、种植模式(轮作和间作)以及连作对土壤理化和生物性质影响等方面。比如,一些报道表明生物菌剂、有机肥、腐植酸可以改善连作障碍土壤上甘薯生长状况,抑制甘薯连作障碍发生^[3-5]。另外,不少研究结果表明甘薯与其他作物间作、轮作都可以很好地抑制甘薯连作障碍发生^[6-10]。土传病害被认为是甘薯连作障碍的主要原因之一,其中甘薯茎线虫病尤为突出,严重时可导致甘薯绝收。目前已有一些关于甘薯连作对土壤微生物特别是线虫多样性和群落结构影响的报道,这些报道阐明了甘薯连作障碍发生的土壤生物机制^[3,6,11-13]。虽然上述研究结果为克服甘薯连作障碍提供了理论基础和技术途径,但这些研究较多关注土壤化学和生物性质以及甘薯产量,并没重视甘薯本身耐连作的遗传潜力和矿质营养。

不同基因型的甘薯品种对土壤逆境的适应能力存在很大的差异,种植耐连作的甘薯品种可作为解决甘薯连作障碍问题的技术途径之一。相对于土壤改良和作物种植模式调整,种植耐连作的甘薯品种具有节约资源、省时省力、绿色环保等多方面优势。虽然目前已有很多养分高效利用和抗土壤逆境的作物品种筛选报道,但是尚未见到关于耐连作甘薯品种筛选的报道。筛选耐连作甘薯品种,对甘薯种植、品种选育、抗逆机制研究均具有重要意义。本研究选用不同遗传背景的 26 个甘薯品种,分别在正常地和连作障碍地上比较了它们的产量和耐连作能力的差异,以期获得耐连作的甘薯品种。植物营养状况不佳可能是甘薯连作障碍发生的原因之一,但以前甘薯连作障碍方面的研究较少关注甘薯体内养分状况,这导致不能从植物营养角度阐释甘薯连作障碍发生的原因。因此,本研究在筛选耐连作甘薯品种的基础上,进一步分析了 26 个甘薯品种薯块氮、磷、钾含量,以期从植物营养角度解析甘薯连作障碍发生的原因。

1 材料与方法

1.1 供试地点

试验地点设在安徽省泗县,选择甘薯连作 15 年的连作障碍地块(33.418 863°N, 117.897 365°E)和相邻的未种过甘薯的正常地块(33.419 963°N, 117.896 729°E)为试验地。土壤类型为砂姜黑土。试验所在地属暖温带半湿润季风气候,年均降水量 800~930 mm,雨季降水量占全年的 56%,年均气温 14℃,年均无霜期 200~220 d,年日照时数 2 284~2 495 h,日照率 52%~57%。周年种植模式为:小麦-甘薯。试验开始前多点混合,采取基础土样,理化性质见表 1。

1.2 供试材料

供试品种选择依据:江苏当地主栽品种、全国大面积推广品种、安徽泗县常栽品种。供试品种主要来自国家甘薯产业技术体系特用甘薯品种改良团

队、南京试验站和安徽泗县农业科学研究所。供试甘薯品种见表2。

表1 供试土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of soil

地块性质	pH	电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
连作障碍地	5.30	136.6	29.9	91.7	54.6	100
正常地	5.37	149.4	38.2	122.5	73.3	319

表2 供试甘薯品种

Table 2 Sweetpotato cultivars

序号	品种名称
1	济 26
2	宁紫 1 号
3	宁紫 4 号
4	普 32
5	商 19
6	苏 16
7	苏 28
8	苏 29
9	苏 33
10	苏 36
11	皖 361
12	皖 373
13	徐 21-46
14	徐 37
15	徐 A1-144
16	徐 B21-38
17	徐 D10-81
18	徐 D12-170
19	徐 D1-95
20	徐 D9-123
21	徐 D9-244
22	徐 E21-21
23	徐紫 8 号
24	烟 25
25	浙 13
26	浙 33

1.3 试验设计

26 个甘薯品种分别种植在甘薯连作障碍地块和正常地块。每小区面积 9.49 m^2 , 每小区有 3 垄,

每垄 $0.95\text{ m} \times 3.33\text{ m}$, 每小区 50 株, 株距 20 cm。每小区之间插标牌, 小区与小区间隔 0.5 m 不种植甘薯, 设置 3 次重复。2021 年 6 月 16 日起垄, 6 月 19 日移栽, 10 月 25 日收获。甘薯收获时, 单独记录每个小区甘薯薯块质量, 并采集薯块样品, 测定薯块的氮、磷、钾含量。

1.4 测定项目及分析方法

土壤有机质含量测定采用重铬酸钾容量法-外加热法^[14], 碱解氮测定采用碱解扩散法^[14], 有效磷以 Olsen-P 含量表示, Olsen-P 用 0.5 mol/L NaHCO_3 溶液 (pH8.5) 浸提-钼蓝比色法^[14]测定, 速效钾用 $1\text{ mol/L NH}_4\text{OAc}$ 浸提-火焰光度法^[14] (FP640 型火焰光度计) 测定, 土壤 pH 用电位法^[14] (水土比 2.5 : 1.0, 质量比) 测定, 土壤电导率用电导率仪测定。薯块氮、磷和钾含量用浓硫酸-双氧水消煮, 全自动定氮法^[14]测定氮含量, 钼蓝比色法^[14]测定磷含量, 火焰光度法^[14]测定钾含量。

1.5 数据分析

甘薯耐连作能力用连作障碍地块甘薯产量与正常地块甘薯产量的比值来表示, 比值高表示耐连作能力强, 反之则弱; 甘薯薯块氮、磷和钾的相对含量为连作障碍地块甘薯氮、磷和钾含量与正常地块甘薯氮、磷和钾含量的比值。试验数据采用 SPSS 18.0 统计软件进行处理, 邓肯检验进行多重比较和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同甘薯品种耐连作能力比较

产量降低是甘薯连作障碍的最终反映指标。不同甘薯品种在正常地上的产量也存在差异。为了消除这种差异, 本研究采用连作障碍地甘薯产量与正常地甘薯产量之间的比值来评价不同甘薯品种耐连作能力。表 3 表明, 相对于正常地, 连作障碍地 26 个甘薯品种的平均产量降幅约 35%, 表明连作障碍

使甘薯产量大幅度降低。通过配对样本 t 检验得出,26 个甘薯品种在连作障碍地的产量极显著低于正常地块。连作障碍地 26 个甘薯品种的产量变异系数较正常地块大,表明正常地块上不同甘薯品种之间产量差异较小,而连作障碍使不同品种之间的产量差异增大,这导致甘薯耐连作能力存在品种间差异。对 26 个甘薯品种的产量分析表明,苏 33 的产量在连作障碍地略高于正常对照地,其他 25 个甘薯品种的产量在连作障碍地均低于正常对照地,但是品种间降幅存在很大差异。

表 3 正常地和连作障碍地上不同甘薯品种产量比较

Table 3 Yield comparison between different sweetpotato cultivars planted on healthy soil and continuous cropping soil

序号	品种	正常地产量 (kg, 666.7 m ²)	连作障碍地产量 (kg, 666.7 m ²)	耐连作能力
1	济 26	4 404±205	2 151±459	0.488
2	宁紫 1	2 477±487	1 888±343	0.762
3	宁紫 4	3 755±863	2 060±543	0.549
4	普 32	4 676±231	3 155±171	0.675
5	商 19	5 366±212	3 715±731	0.692
6	苏 16	3 415±586	2 066±335	0.605
7	苏 28	4 951±682	3 037±826	0.614
8	苏 29	3 040±861	1 437±454	0.473
9	苏 33	2 562±538	2 957±661	1.154
10	苏 36	4 695±441	2 773±424	0.591
11	皖 361	4 411±290	3 189±506	0.723
12	皖 373	4 473±778	3 137±353	0.701
13	徐 21-46	5 213±407	3 197±818	0.613
14	徐 37	4 062±661	2 611±479	0.643
15	徐 A1-144	3 204±154	2 784±420	0.869
16	徐 B21-38	4 969±229	3 760±784	0.757
17	徐 D10-81	2 684±767	1 595±518	0.594
18	徐 D12-170	3 353±223	1 988±283	0.593
19	徐 D1-95	3 666±825	2 951±966	0.805
20	徐 D9-123	4 242±578	2 184±848	0.515
21	徐 D9-244	2 566±802	1 264±463	0.493
22	徐 E21-21	3 593±484	2 375±598	0.661
23	徐紫 8	3 662±139	2 164±264	0.591
24	烟 25	1 736±324	2 464±178	0.619
25	浙 13	4 286±693	2 520±717	0.588
26	浙 33	3 493±756	2 013±592	0.576

进一步依据耐连作能力,对 26 个甘薯品种进行聚类分析,可分为 4 类(图 1): I,强耐连作甘薯品种,耐连作能力系数 ≥ 1 ,只有 1 个品种苏 33; II,中耐连作甘薯品种,耐连作能力为 0.757~0.869,包括徐 A1-144、徐 D1-95、宁紫 1 号、徐 B21-38 等 4 个品种; III,不耐连作甘薯品种,耐连作能力为 0.549~0.723,包括皖 361、皖 373、商 19、普 32、徐 E21-21、徐 37、烟 25、苏 28、徐 21-46、苏 16、徐 D10-81、徐 D12-170、徐紫 8、苏 36、浙 13、浙 33、宁紫 4 等 17 个品种; IV,超不耐连作甘薯品种,耐连作能力 ≤ 0.515 ,包括苏 29、济 26、徐 D9-123、徐 D9-244 等 4 个品种。

2.2 连作障碍对不同甘薯品种薯块氮、磷、钾含量的影响

连作障碍影响植物对养分的吸收,营养不良(包括养分过多、过少和不平衡)是植物发生连作障碍的因子之一。因此,进一步分析了 26 个甘薯品种薯块的氮、磷、钾含量。

表 4 薯块氮含量结果表明,相对于正常地,从 26 个品种氮含量的平均值看,连作障碍使薯块氮含量增加约 41%,说明连作障碍促进甘薯地上部的氮向薯块转移和累积;从单个品种的相对氮含量看,只有宁紫 1 号、皖 361、苏 33 的相对氮含量小于 1,连作障碍没有使这 3 个品种薯块氮含量增加,而使其他品种薯块氮含量都增加;连作障碍地块薯块氮含量变异系数小于正常地块。

表 4 薯块磷含量结果表明,相对于正常地块,从 26 个品种磷含量的平均值看,连作障碍使薯块磷含量增加约 23%,说明连作障碍促进甘薯地上部的磷向薯块转移和累积;从单个品种的相对磷含量看,所有品种的相对磷含量都大于 1;连作障碍地薯块磷含量变异系数小于正常地。

表 4 薯块钾含量结果表明,相对于正常地,从 26 个品种钾含量的平均值看,与氮、磷含量相反,连作障碍使薯块钾含量降低约 25%,说明连作障碍阻碍甘薯地上部的钾向薯块转移和累积;从单个品种的相对钾含量看,只有苏 16 和徐 21-46 的相对钾含量大于 1,连作障碍没有使这两个品种薯块钾含量降低,而使其他品种薯块钾含量降低;连作障碍地薯块钾含量变异系数小于正常地块。

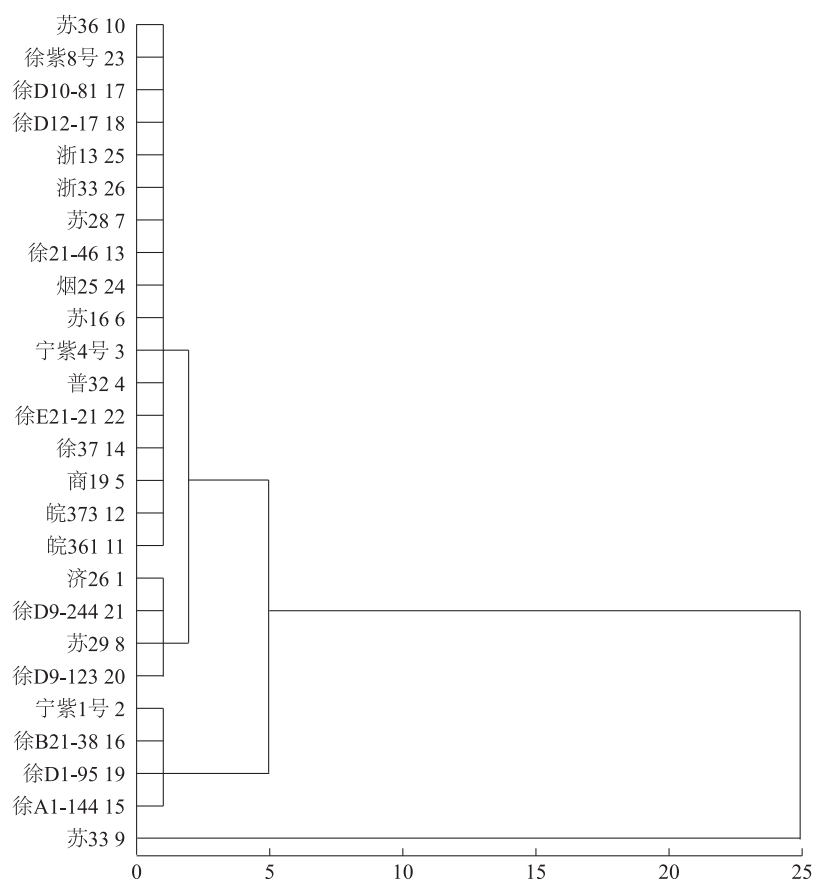


图1 不同甘薯品种耐连作障碍能力的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of tolerance to continuous cropping of sweetpotato cultivars

表4 正常地块和连作障碍地块不同甘薯品种薯块氮、磷、钾含量比较

Table 4 Comparison of nitrogen, phosphorus and potassium contents between different sweetpotato cultivars planted on healthy soil and continuous cropping soil

序号	品种	正常地 薯块氮含量 (g/kg)	障碍地 薯块氮含量 (g/kg)	相对 氮含量	正常地 薯块磷含量 (g/kg)	障碍地 薯块磷含量 (g/kg)	相对 磷含量	正常地 薯块钾含量 (g/kg)	障碍地 薯块钾含量 (g/kg)	相对 钾含量
1	济 26	4.39±1.15	4.81±1.55	1.10	1.56±0.33	1.97±0.17	1.27	11.30±1.44	9.77±0.52	0.86
2	宁紫 1 号	8.41±3.35	7.78±2.64	0.93	1.76±0.17	2.38±0.16	1.35	15.50±3.33	10.90±2.08	0.71
3	宁紫 4 号	4.09±1.99	6.96±1.70	1.70	1.15±0.82	2.06±0	1.79	7.94±3.39	7.78±1.50	0.98
4	普 32	6.04±1.25	7.52±0.25	1.25	1.23±0.35	1.95±0.03	1.59	8.32±1.34	7.25±0.70	0.87
5	商 19	6.36±2.88	8.45±0.77	1.33	1.76±0.57	1.98±0	1.13	12.60±4.56	11.50±0.28	0.91
6	苏 16	5.85±1.95	9.66±3.22	1.65	1.28±0.83	2.21±0.30	1.72	13.00±6.25	13.20±2.36	1.02
7	苏 28	4.77±1.31	9.02±1.09	1.89	1.69±0.37	2.11±0.10	1.25	14.50±6.89	9.98±1.79	0.69
8	苏 29	4.42±2.39	6.80±0.22	1.54	1.46±0.57	1.92±0.05	1.32	9.71±3.95	7.23±1.27	0.74
9	苏 33	7.52±3.38	7.13±0.58	0.95	2.06±0.38	2.12±0.01	1.03	14.10±2.65	9.53±1.29	0.68
10	苏 36	4.41±1.97	8.08±1.14	1.83	1.69±0.03	2.06±0.27	1.22	11.30±2.59	8.24±1.42	0.73
11	皖 361	7.80±4.55	7.36±1.96	0.94	1.76±0.23	2.05±0.27	1.16	15.90±2.30	9.24±0.57	0.58
12	皖 373	4.14±1.39	7.51±1.25	1.81	1.34±0.29	1.94±0.07	1.45	15.50±3.96	9.35±0.87	0.60

续表4 Continued4

序号	品种	正常地 薯块氮含量 (g/kg)	障碍地 薯块氮含量 (g/kg)	相对 氮含量	正常地 薯块磷含量 (g/kg)	障碍地 薯块磷含量 (g/kg)	相对 磷含量	正常地 薯块钾含量 (g/kg)	障碍地 薯块钾含量 (g/kg)	相对 钾含量
13	徐 21-46	4.20±2.01	7.91±2.10	1.88	1.20±0.60	1.76±0.60	1.47	8.44±1.83	8.94±1.42	1.06
14	徐 37	4.17±1.31	8.29±1.78	1.99	1.56±0.38	2.15±0.12	1.38	15.20±4.11	10.60±0.84	0.70
15	徐 A1-144	4.72±2.96	9.66±1.41	2.05	1.83±0.03	1.89±0.16	1.03	13.80±1.15	8.92±0.75	0.64
16	徐 B21-38	7.48±5.10	9.32±1.67	1.25	1.71±0.74	2.14±0.15	1.24	13.10±5.07	11.59±1.32	0.88
17	徐 D10-81	5.06±0.93	7.45±2.10	1.47	1.51±0.06	1.78±0.36	1.18	11.80±1.23	7.20±1.38	0.61
18	徐 D12-170	4.64±1.11	9.00±2.77	1.94	1.95±0.04	2.17±0.10	1.11	14.20±1.12	9.41±0.03	0.66
19	徐 D1-95	7.38±3.29	7.53±1.24	1.02	1.79±0.09	2.19±0.12	1.23	18.30±4.25	11.80±4.54	0.65
20	徐 D9-123	5.35±2.09	7.76±0.50	1.45	1.72±0.17	1.97±0.26	1.14	13.10±1.63	9.00±1.36	0.69
21	徐 D9-244	4.17±0.60	9.49±1.56	2.28	1.71±0.19	1.81±0.30	1.06	12.70±2.77	8.07±2.10	0.63
22	徐 E21-21	6.25±3.99	8.07±1.47	1.29	1.74±0.03	2.02±0.19	1.16	15.00±2.16	10.20±2.64	0.68
23	徐紫 8 号	6.17±0.46	8.28±0.71	1.34	1.86±0.15	2.12±0.68	1.14	14.0±4.38	8.91±1.62	0.64
24	烟 25	5.39±1.24	6.15±0.15	1.14	2.16±0.38	2.37±0.25	1.10	8.65±1.51	6.20±1.84	0.72
25	浙 13	5.04±1.17	7.22±1.22	1.43	1.48±0.14	1.70±0.19	1.15	10.70±0.93	9.27±1.74	0.86
26	浙 33	5.58±2.01	6.64±1.27	1.19	1.57±0.22	1.87±0.17	1.19	11.40±0.87	9.20±0.57	0.81

2.3 甘薯耐连作能力与薯块氮、磷、钾含量之间的相关分析

表 5 表明,正常地甘薯产量与障碍地甘薯产量呈显著正相关。甘薯耐连作能力与正常地薯块氮、磷、钾含量及障碍地甘薯产量呈显著正相关,而与障碍地薯块的氮、磷、钾含量及正常地甘薯产量相关性

不大。另外,正常地薯块氮含量与正常地薯块磷和钾含量、障碍地薯块磷和钾含量呈显著正相关,障碍地薯块氮含量与障碍地薯块钾含量呈显著正相关,正常地薯块磷含量与障碍地薯块磷含量、正常地薯块钾含量呈显著正相关,正常地薯块钾含量与障碍地薯块钾含量呈显著正相关。

表 5 甘薯耐连作能力与薯块氮、磷和钾含量之间的相关系数

Table 5 Correlation coefficients between continuous cropping tolerance of sweetpotato and nitrogen, phosphorus and potassium contents in tuber

	正常地 薯块氮含量	障碍地 薯块氮含量	正常地 薯块磷含量	障碍地 薯块磷含量	正常地 薯块钾含量	障碍地 薯块钾含量	正常地 产量	障碍地 产量	耐连作 能力
正常地薯块氮含量	1.00								
障碍地薯块氮含量	0.04	1.00							
正常地薯块磷含量	0.41 *	0.08	1.00						
障碍地薯块磷含量	0.47 *	0.06	0.47 *	1.00					
正常地薯块钾含量	0.46 *	0.35	0.44 *	0.34	1.00				
障碍地薯块钾含量	0.44 *	0.40 *	0.03	0.33	0.62 *	1.00			
正常地产量	-0.13	-0.03	-0.25	-0.12	-0.20	0.14	1.00		
障碍地产量	0.32	0.15	0.05	0.08	0.15	0.33	0.74 *	1.00	
耐连作障碍能力	0.60 *	0.15	0.40 *	0.28	0.43 *	0.29	-0.17	0.51 *	1.00

* 表示相关性达 0.05 显著水平。

3 讨论

甘薯虽是一种对环境适应性较强的植物,但在

农业高度集约化和经济利益最大化的生产背景下,土壤出现了一些逆境因子,限制了甘薯的高产和优质^[15-16]。目前,已有一些关于抗茎线虫病^[17-18]、耐

寒^[19]、耐低钾^[20]、耐盐^[21]、耐旱^[22-23]甘薯品种筛选方面的报道。本研究针对甘薯产业体系中的连作障碍问题,根据正常地和障碍地 26 个甘薯品种的产量,通过计算相对产量,并基于聚类分析,筛选出了耐连作甘薯品种,包括 1 个强耐连作甘薯品种,4 个中耐连作甘薯品种,17 个不耐连作甘薯品种,4 个超不耐连作甘薯品种。由于这些品种来自江苏、安徽和中国其他主要甘薯种植区,遗传背景多样化,具有一定的代表性,这不仅为甘薯种植提供了品种资源,也为研究甘薯耐连作机制提供了遗传材料,同时也为全国各地甘薯种植和管理提供了参考。强耐连作甘薯品种苏 33 在连作障碍地的产量甚至略高于正常地的产量,该品种将来可作为一种宝贵种质资源,用来进行理论研究和甘薯新品种选育,有望为解决甘薯连作障碍问题提供新途径。

目前防治甘薯连作障碍发生的主要技术途径有化学防控(如肥料、菌剂、杀线剂等)、种植模式调整(轮作和间作),在机制上主要研究连作对土壤理化和生物性质的影响,而对于甘薯营养状况与连作障碍之间的关系关注较少。植物很多病害的发生与其自身的营养状况有关,营养均衡对于植物的健康生长具有关键性作用。在本研究中,虽然正常地的土壤有效氮、磷、钾含量均高于障碍地,但是薯块氮、磷、钾含量的分析结果却表明,相对于正常地,障碍地薯块氮、磷含量提高,薯块钾含量却大幅降低,这必将导致甘薯氮、磷、钾营养之间的不平衡。甘薯是喜钾作物,高钾可促进块根淀粉积累与膨大,提高甘薯产量。另外,钾可增加淀粉向甘薯块根的分配,抑制地上部分旺长,氮、钾平衡可协调甘薯地上部分与地下部分之间的生长,从而提高块根产量^[24-28]。适宜的氮、磷、钾比例对甘薯增产和品质改善非常重要,适当增施钾肥,减施氮肥,保持适量磷肥,可有效控制甘薯地上部旺长,实现甘薯地上部分与地下部分的协调生长,实现甘薯高产^[27,29]。氮、磷、钾缺乏对甘薯苗期生长的影响由大到小依次为:缺氮>缺钾>缺磷^[30]。甘薯的氮、磷、钾配比肥料试验结果得出了很多氮、磷、钾肥的适宜配比,如 1:1:2^[27], 1.0:0.3~0.5:0.8~1.2^[31], 1.00:0.38:1.24^[32], 1.0:1.0:2.5^[33]。这些氮、磷、钾肥的适宜配比综合表明了甘薯氮、磷、钾之间均衡的重要性,特别是钾肥的比例都较高。因此,我们推测甘薯氮、磷、钾之间的失衡可能是甘薯连作障碍发生的一个重要原

因,本研究结果也表明,甘薯耐连作能力与正常地甘薯薯块氮、磷、钾含量之间具有显著相关性。将来可通过合理调控氮、磷、钾之间的比例,减轻甘薯连作障碍的发生。连作可能会引起土壤微生物菌群及酚酸类化感物质发生变化,进而对产量产生影响,这部分工作正在进一步的研究。

综合以上分析,连作障碍使甘薯产量显著降低,但是不同甘薯品种对连作的耐性存在很大差异。本研究从 26 个甘薯品种中筛选获得 1 个强耐连作的甘薯品种(苏 33),4 个较耐连作的甘薯品种(徐 A1-144、徐 D1-95、宁紫 1 号、徐 B21-38),其他 21 个品种不耐连作,为甘薯栽培种植和品种选育提供了种质资源。连作障碍使薯块氮和磷含量增加,钾含量降低,不同甘薯品种的耐连作能力与正常地甘薯薯块的氮、磷、钾含量之间呈显著正相关,氮、磷、钾营养失衡可能是甘薯连作障碍发生的一个原因,这为解析甘薯连作障碍发生机制提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 刘庆昌. 甘薯在我国粮食和能源安全中的重要作用[J]. 科技导报, 2004(9):21-22.
- [2] 刘亚军,王文静,王红刚,等. 轮种作物对甘薯田土壤微生物群落的影响[J]. 作物杂志, 2021(6):122-128.
- [3] 商丽丽,杜清福,韩俊杰,等. 甘薯重茬对土壤微生物的影响及重茬障碍防治措施研究[J]. 作物杂志, 2015(4):126-129.
- [4] 马洪波,杨 苏,李传哲,等. 不同肥料和生物菌剂对重茬甘薯产量及土壤质量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(24):47-49, 57.
- [5] 朱海波,刘 刚,尉继强,等. 不同肥料种类对缓解甘薯连作障碍的作用研究[J]. 农业科技通讯, 2019(11):170-173.
- [6] 金凤柱,海 棠,武宝悦,等. 几种不同农艺措施对土壤甘薯茎线虫种群动态的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(4):921-924.
- [7] 乔月静,刘 琪,曾昭海,等. 轮作方式对甘薯根际土壤线虫群落结构及甘薯产量的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(1):20-29.
- [8] 储凤丽,李淑敏,刘亚军,等. 甘薯玉米间作对土壤性质与作物产量的影响[J]. 山西农业科学, 2020, 48(9):1445-1448, 1455.
- [9] 张 艳,郭书亚,尚 赏,等. 甘薯/玉米不同间作方式对土壤养分、酶活性及作物产量的影响[J]. 山西农业科, 2020, 48(8):1234-1238.
- [10] 罗 密,邓仁菊,尹 旺,等. 甘薯轮作模式对土壤理化特性的影响[J]. 贵州农业科学, 2021, 49(9):21-26.
- [11] 海 棠,彭德良,曾昭海,等. 耕作制度对甘薯土壤线虫群落结构的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6):1851-1857.
- [12] 高志远,胡亚亚,刘兰服,等. 甘薯连作对根际土壤微生物群落

- 结构的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(6): 1248-1255.
- [13] 胡启国, 刘亚军, 王文静, 等. 甘薯轮作与间作对根际土壤微生物群落的影响[J]. 作物杂志, 2021(5): 153-159.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 308-316.
- [15] 周晓月, 袁洁, 石琨, 等. 丛枝菌根真菌对甘薯生物量、根系形态及钾素吸收的影响[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(4): 939-948.
- [16] 陈晶伟, 马居奎, 张成玲, 等. 徐淮地区7个甘薯茎线虫群体的形态学及分子生物学鉴定[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(6): 1409-1416.
- [17] 林敏, 郑良, 杨秀娟, 等. 抗根结线虫甘薯品种的初步筛选[J]. 福建农业科技, 1994(4): 4-5.
- [18] 王建勤. 抗茎线虫病甘薯品种的筛选鉴定[J]. 中国植保导刊, 2009(11): 23-24.
- [19] 于万春, 高中奎, 裴宇, 等. 寒地甘薯品种筛选试验[J]. 内蒙古农业科技, 2009(3): 47.
- [20] 唐忠厚, 张允刚, 魏猛, 等. 耐低钾和钾高效型甘薯品种(系)的筛选及评价指标[J]. 作物学报, 2014, 40(3): 542-549.
- [21] 王文婷, 侯夫云, 王庆美, 等. 耐盐性甘薯品种的初步筛选[J]. 山东农业科学, 2012, 44(11): 35-37.
- [22] 袁振, 汪宝卿, 姜瑶, 等. 甘薯耐旱性品种苗期筛选及耐旱性指标研究[J]. 山东农业科学, 2015, 47(3): 22-26, 36.
- [23] 张海燕, 解备涛, 汪宝卿, 等. 不同甘薯品种抗旱性评价及耐旱指标筛选[J]. 作物学报, 2019, 45(2): 419-430.
- [24] 吕长文, 赵勇, 唐道彬, 等. 不同类型甘薯品种氮、钾积累分配及其与产量性状的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(2): 475-482.
- [25] 史春余, 王振林, 赵秉强, 等. 钾营养对甘薯某些生理特性和产量形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(1): 81-85.
- [26] 宁运旺, 曹炳阁, 朱绿丹, 等. 施钾水平对甘薯干物质积累与分配和钾效率的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(2): 320-325.
- [27] 杨育峰, 张晓申, 王慧瑜, 等. 氮、磷、钾肥配施对甘薯农艺性状和产量的影响[J]. 河南农业科学, 2015, 44(6): 81-83, 89.
- [28] 汪顺义, 刘庆, 史衍玺, 等. 氮钾配施对甘薯光合产物积累及分配的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(14): 2706-2716.
- [29] 宁运旺, 曹炳阁, 马洪波, 等. 氮肥用量对滨海滩涂区甘薯干物质积累、氮素效率和钾钠吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 982-987.
- [30] 宁运旺, 马洪波, 许仙菊, 等. 氮磷钾缺乏对甘薯前期生长和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2013, 46(3): 486-495.
- [31] 盛锦寿. 氮磷钾肥配合施用对甘薯的增产效果[J]. 土壤肥料, 2005(5): 29-31.
- [32] 章明清, 李娟, 孔庆波, 等. 福建甘薯氮磷钾施肥指标研究[J]. 土壤通报, 2012, 43(4): 861-866.
- [33] 郭清霞, 侯占领, 师小周. 褐土区甘薯氮磷钾配比试验与应用[J]. 土壤肥料, 2001(4): 40-42.

(责任编辑: 成纾寒)