

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.04.007

油菜秸秆还田对土壤性质及高粱产量的影响

王秋月¹, 王晨光², 魏灵¹, 尹学伟¹,
鲁远源¹, 李清虎¹, 张晓春¹

1. 重庆市农业科学院特色作物研究所, 重庆 402160; 2. 西北农林科技大学, 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100

摘要: 为了探究油菜秸秆全量还田与氮肥减施对土壤理化性质及高粱产量的影响, 以期为油菜秸秆全量还田条件下氮肥的合理施用提供一定的参考, 该研究通过田间试验, 在油菜秸秆全量还田条件下, 设置 4 个施氮水平 (0, 120, 150, 180 kg/hm²), 以常规施肥 (180 kg/hm² 施氮量) 为对照, 探究不同处理下高粱产量及土壤理化性质的变化特征。结果表明: 秸秆全量还田条件下 180 kg/hm² 施氮量处理高粱产量最高, 为 6 464.85 kg/hm², 但是秸秆全量还田条件下 150 kg/hm² 施氮量处理的边际报酬率最高, 为 18.25%, 且此时高粱产量和常规施肥的产量处于同一水平。在秸秆全量还田条件下土壤团聚体平均重量直径、饱和含水量、铵态氮、硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、速效钾、全钾以及有机质随氮肥施用量的增加均表现出先增加后减小的趋势, 且均在氮肥施用量为 150 kg/hm² 时达到最高, 而容质量在此时最低。土壤综合质量由高到低依次为: SN2 处理、SN1 处理、SN3 处理、CK 处理、SN0 处理。综上所述, 在油菜秸秆全量还田时, 最佳施用氮肥量为 150 kg/hm², 此时氮肥边际报酬率最高, 土壤质量最优, 且产量与常规施肥产量处于同一水平。

关键词: 秸秆还田; 氮肥减施; 边际报酬; 理化性质;

土壤质量评价

中图分类号: S156

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2023)04-0073-09

Effects of Rapeseed Straw Returning on Soil Properties and Sorghum Yield

WANG Qiuyue¹, WANG Chenguang², WEI Ling¹,
YIN Xuewei¹, LU Yuanyuan¹, LI Qinghu¹, ZHANG Xiaochun¹

1. Institute of Characteristic Crops Research, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Chongqing 402160, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

收稿日期: 2022-05-07

基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2019jscx-msxmX0384); 重庆市科研院所绩效激励引导专项(cqaas2020jxjl03); 重庆市永川区自然科学基金项目(2022yc-jckx20033)。

作者简介: 王秋月, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物病原学研究。

通信作者: 张晓春, 研究员。

Abstract: In order to investigate the effect of total rapeseed straw returning and N fertilizer reduction on soil physicochemical properties and sorghum yield, with a view to provide some references for the reasonable application of N fertilizer under the condition of returning total rape straw to the field, through field experiments, under the condition of returning rape straw to the field, four nitrogen application levels were set (0, 120, 150, 180 kg/hm²), and conventional fertilization (180 kg/hm²) was used as a control to explore the change characteristics of sorghum yield and soil physical and chemical properties under different treatments. The highest sorghum yield of 6 464.85 kg/hm² was recorded in the total straw returning and 180 kg/hm² nitrogen treatment. The treatment with nitrogen application rate of 150 kg/hm² under the condition of full straw returning to the field treatment had the highest marginal rate of return, which was 18.25%, and the sorghum yield was at the same level as that of the conventional fertilizer (180 kg/hm²). With the increase of nitrogen fertilizer, the mean weight diameter of soil aggregates, saturated water content, ammonia nitrogen, nitrate nitrogen, alkaline hydrolyzable nitrogen, total nitrogen, available phosphorus, total phosphorus, available potassium, total potassium and organic matter showed a trend of increasing first and then decreasing, and reached to the highest when the nitrogen fertilizer application rate was 150 kg/hm², while the bulk density was the lowest. In addition, the soil quality in descending order is the SN2 treatment, the SN1 treatment, the SN3 treatment, and CK treatment, the SN0 treatment. In summary, when the rapeseed straw is fully returned to the field, the optimal amount of nitrogen fertilizer applied is 150 kg/hm². With this treatment, the marginal return of nitrogen fertilizer is the highest, the soil quality is the best, and the yield is at the same level as conventional fertilization. This study can provide a certain reference for the regional production practice of rapeseed straw returning to the field and nitrogen fertilizer reduction.

Key words: straw retuning; nitrogen fertilizer reduction; marginal return; physicochemical properties; soil quality assessment

农作物秸秆不仅含碳丰富,而且也含有丰富的氮、磷、钾及微量元素,并且数量大、价格较低,利于推广应用^[1]. 多数研究表明,秸秆有机肥还田后能够增加土壤有机质和养分含量,改善土壤结构,对保持和提高土壤肥力具有重要的作用^[2-4],但是目前我国农业秸秆还田量较发达国家相比依旧较低^[5-6],且存在焚烧严重现象. 根据《2020 中国生态环境状况公报》显示,我国在 2020 年仍发现秸秆焚烧点 7 635 个,这不仅对生态环境健康产生了严重的威胁,而且也是极大的资源浪费. 与此同时,氮肥的过量施用问题也越来越严重. 氮肥的过量施用造成了土壤质量退化,给环境带来了严重的不良影响. 研究表明,氮肥过量施用会造成农田土壤养分失衡、土壤盐渍化、土壤酸化、土壤生物多样性下降以及土壤污染等问题,降低土壤生产能力,不利于农业的可持续发展^[7-10]. 秸秆还田与氮肥减施不仅可以改善农田土壤结构,而且可以避免秸秆焚烧造成的资源浪费和环境污染,因此本研究对于农业及生态的可持续发展均具有重要的意义. 关于秸秆还田与氮肥减施对于土壤性质和农作物产量的影响已经有不少学者展开了研究. 张建军等^[11]研究表明,秸秆还田与氮肥减施能够提高玉米水分利用效率,且适当减少氮肥施用量不会对作物产量产生显著影响. 庞党伟等^[12]等研究发现,秸秆还田与氮肥配施能够提高土层有机质含量,降低土壤容质量,增加土壤孔隙度. 付丽波等^[13]将小麦秸秆用于植烟土壤的理化性质改良时发现,小麦秸秆与氮肥配施能够显著增加土壤大团聚体含量和土壤水分含量,并且还可以促进土壤有效钾的提升. 虽然目前关于秸秆还田与氮肥混合施用已经开展了许多研究,但是主要集中在小麦和玉米等作物秸秆,而关于在不同地区油菜秸秆与氮肥减施的研究较为薄弱. 油菜作为我国重要的油料作物,其秸秆的资源化利用应该被重视. 因此本研究旨在

探讨油菜秸秆全量翻埋还田条件下, 以生产上常规施肥水平为对照, 探究减少化学氮肥的施用对冬油菜/夏高粱轮作模式下高粱产量和土壤理化性质的影响, 寻求油菜秸秆全量还田条件下氮肥的适宜用量, 以期

为研究区油菜秸秆资源化利用下的氮肥减施提供一定的理论参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

田间定位试验于 2019—2021 年在重庆市农业科学院永川区兴隆基地(北纬 29°17'70", 东经 105°50'41", 海拔 265.96 m)进行, 该区属典型的亚热带季风性湿润气候, 年平均气温 17.7 ℃, 年平均降雨量 1 015.0 mm, 平均日照 1 218.7 h, 无霜期 317 d. 试验地土质为轻黏土, 土壤肥力均匀, 质地相同.

1.2 供试材料

试验选用适宜重庆地区种植的高粱、油菜为主推品种, 分别为“晋渝糯 3 号”(重庆市农业科学院特色作物研究所提供)、“蜀丰 7810”(四川华丰种业有限责任公司提供).

1.3 试验设计

试验采用单因素随机区组设计, 以常规施肥(180 kg/hm² 施氮量)为 CK, 分别设置 SN0(秸秆全量还田)、SN1(秸秆全量还田条件下 120 kg/hm² 施氮量)、SN2(秸秆全量还田条件下 150 kg/hm² 施氮量)、SN3(秸秆全量还田条件下 180 kg/hm² 施氮量), 共 5 个处理. 每个处理进行 3 次重复, 共划分 15 个小区, 高粱采用垄面种植, 种植密度为 12 万株/hm². 其中秸秆全量还田的用量为 8.5 t/hm². 秸秆还田方式为粉碎后翻埋还田. 秸秆还田时间为 2020—2021 年每年的 5 月初. 高粱种植时间为秸秆还田两周后.

1.4 样品采集与分析

连续还田两年后, 于 2021 年 9 月 10 日采样, 采集 0~20 cm 土层原状土, 每个小区采集 5 个点, 采样方法为五点取样法. 将 5 点土样混合成一个样品, 装入袋中运回试验室, 自然风干后过筛测定其化学性质. 同时采集 0~20 cm 原状土样, 在室内剔除石砾、肉眼可见的植物残体混合根系等杂质, 用手将大土块沿土体自然裂隙轻轻掰碎, 过 8 mm 筛, 风干, 留待土壤团聚体分析. 用环刀采集土壤原状环刀样品(100 cm³), 采样深度为 0~20 cm, 每个处理重复 3 次, 测定土壤容质量、饱和含水量等物理性质. 试验测定于 2021 年 9 月 20 日进行.

1.5 试验测定方法

土壤全氮: 采用凯氏定氮法测定; 土壤全磷: 采用 NaOH 熔融-钼蓝比色法测定; 土壤全钾: 采用 NaOH 熔融-火焰光度计法测定; 土壤碱解氮: 采用碱解扩散法测定; 土壤 NH₄⁺ 和 NO₃⁻: 采用 AA3 流动分析仪测定; 土壤速效钾: 采用 NH₄Ac 浸提-火焰光度计法测定; 土壤有效磷: 采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼蓝比色法测定; 土壤有机质: 采用重铬酸钾-容量法测定. 以上指标的测定方法均参照鲍士旦^[14]主编的第 3 版《土壤农化分析》中的方法. 水稳定性团聚体: 采用湿筛法^[13]测定; 土壤容质量: 采用环刀法^[3]测定; 土壤饱和含水量: 采用称质量法^[3]测定; 产量: 于高粱成熟期进行实收计产.

1.6 指标计算

土壤质量评价^[15]采用综合评价法. 本研究选取土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾、硝态氮、铵态氮、碱解氮质量分数以及土壤物理性质容质量、饱和含水量、团聚体平均重量直径作为土壤质量评价的指标. 采用具有连续性的隶属度函数对各土壤因子评价指标进行标准化处理, 同时用“S”升型和降型函数求隶属度值.

$$F(X)=\begin{cases} 1 & X\geqslant X_{\max} \\ 0.9\times\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}}+0.1 & X_{\max}>X>X_{\min} \\ 0.1 & X\leqslant X_{\min} \end{cases} \tag{1}$$

$$F(X)=\begin{cases}0.1 & X\geqslant X_{\max}\\0.9\times\frac{X_{\max}-X}{X_{\max}-X_{\min}}+0.1 & X_{\max}>X>X_{\min}\\1 & X\leqslant X_{\min}\end{cases}\tag{2}$$

式中： $X_{\max}$ ， $X_{\min}$ 为土壤质量评价指标的阈值，分别代表测定土壤指标的最大值和最小值。

运用主成分分析法分别计算土壤质量指标的主成分负荷量、方差贡献率和积累方差贡献率，进而计算各土壤质量指标在土壤质量评价中的权重。

$$W_i=\frac{CC_i}{\sum_{i=1}^nCC_i}\tag{3}$$

式中： CC_i 为第 i 项土壤质量因子的载荷； W_i 为各质量因子的权重向量。

应用模糊数学中的模糊集加权综合法来建立土壤质量的综合评价数学模型。

$$S_{SQI}=\sum_{i=1}^nW_i\times F(X_i)\tag{4}$$

式中： S_{SQI} 为土壤质量综合评价指数； $F(X_i)$ 为各质量指标的隶属度值。

边际报酬递减率 M (单位质量氮肥的增产量)：

$$M=\frac{P_i-P_0}{N_i}$$

式中： N_i 为在秸秆还田条件下施用的某一氮肥量 (kg/hm^2)； P_i 为在氮肥施用量为 N_i 时的高粱产量 (kg/hm^2)； P_0 为只有秸秆还田时的氮肥产量 (kg/hm^2)。

1.7 数据处理与分析

数据采用 SPSS 20.0 数据分析软件进行分析，作图使用 Excel 2010 软件。

2 结果

2.1 秸秆全量还田与氮肥减施对土壤理化性质的影响

2.1.1 对物理性质的影响

从图 1~图 3 中可知，在秸秆全量还田条件下，随着氮肥施用量的增加，土壤团聚体平均重量直径、饱和持水量表现出先增加后减小的趋势，且均在施用氮肥量为 $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ 最高，土壤团聚体平均重量直径、饱和持水量分别为 2.89 mm 和 47.79% 。容质量表现出先增大后减小的趋势，且在施用氮肥量为 $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时，土壤容质量最低，为 $1.03\text{ g}/\text{cm}^3$ 。秸秆全量还田与氮肥减施的配比与 CK 相比，均能降低土壤容质量，增加土壤饱和含水量，其中容质量降低 $5.08\%\sim12.74\%$ ，饱和含水量增加 $4.18\%\sim14.05\%$ 。秸秆全量还田与氮肥减施对土壤团聚体平均重量直径的改良效果仅在施用氮肥量为 $150\text{ kg}/\text{hm}^2$ 时，与 CK 相比存在明显差异，土壤团聚体平均重量直径较 CK 相比提高了 15.67% 。

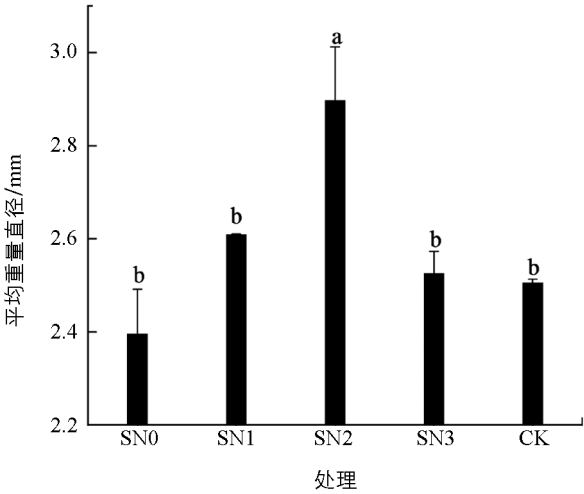


图 1 不同处理的团聚体平均重量直径

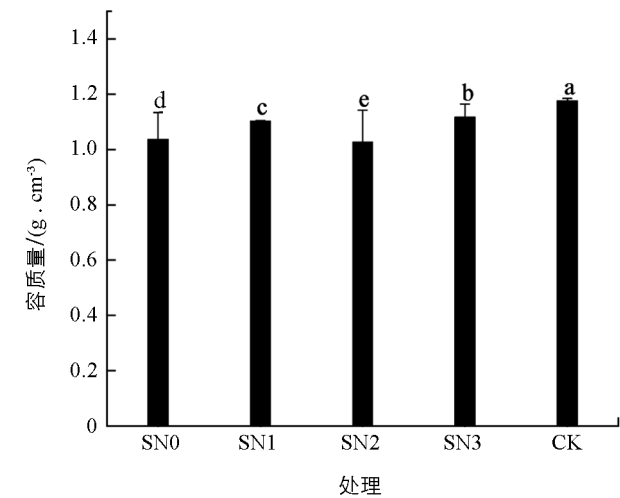


图 2 不同处理的容质量

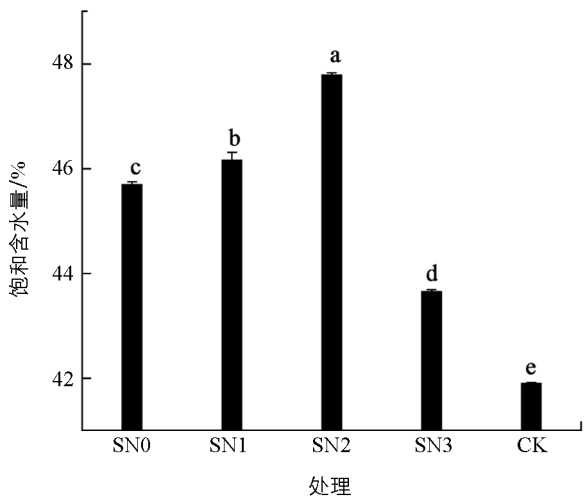


图 3 不同处理的饱和含水量

2.1.2 对土壤化学性质的影响

从表 1 和表 2 可以看出,在秸秆全量还田条件下,随着氮肥施用量的增加,土壤的铵态氮、硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、速效钾、全钾以及有机质质量分数均表现出先增加后减小的趋势,且均在氮肥施用量为 150 kg/hm² 时质量分数达到最大,分别为 38.33 mg/kg,97.95 mg/kg,123.01 mg/kg,1.20 g/kg,15.33 mg/kg,0.90 g/kg,94.23 mg/kg,19.39 g/kg,33.80 g/kg. 土壤铵态氮、土壤有机质和土壤全钾与除土壤全磷外的其他化学指标均呈现显著正相关关系;土壤硝态氮、碱解氮、有效磷与其他化学指标均呈现显著正相关关系;土壤全氮与除土壤速效钾之外的其他化学指标均呈现显著正相关关系;土壤速效钾与除土壤全磷、全氮外的其他化学指标呈显著正相关关系;土壤全磷与硝态氮、碱解氮、全氮和有效磷呈现显著正相关关系. 与常规施肥 CK 处理相比,在对土壤铵态氮的改善中,仅 SN2 处理的铵态氮与其处于同一水平,其余处理的铵态氮均低于 CK;在对土壤硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、速效钾、全钾的改良中,仅 SN2 处理的土壤硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、速效钾、全钾显著高于 CK,几种养分含量分别提高了 3.91%,12.64%,14.29%,19.11%,16.88%,12.10%,7.72%;在对土壤有机质的改良中,与 CK 处理相比,SN2 处理的有机质质量分数显著高于 CK,提高了 7.78%. 在各处理中,SN2 处理的养分含量平均水平较高.

表 1 不同处理下土壤化学性质的变化

	铵态氮	硝态氮	碱解氮	全氮	有效磷	全磷	速效钾	全钾	有机质
SN0	28.92±0.02d	83.87±2.05d	95.40±1.20d	0.87±0.01d	10.41±0.38c	0.66±0.01c	64.72±2.48c	13.63±0.28c	25.30±0.24d
SN1	35.77±0.54b	93.06±0.34b	110.71±0.30b	1.03±0.03b	13.15±0.11b	0.76±0.01b	88.28±0.74b	18.41±0.35ab	32.29±0.43ab
SN2	38.33±0.34a	97.95±0.75a	123.01±2.40a	1.20±0.02a	15.33±0.66a	0.90±0.02a	94.23±1.74a	19.39±0.56a	33.80±0.71a
SN3	34.06±0.31c	89.21±0.46c	103.81±1.80c	0.97±0.01c	12.41±0.25b	0.73±0.01b	85.55±0.99b	17.25±0.27b	30.38±0.28c
CK	37.46±0.17a	94.26±0.15b	109.21±2.40bc	1.05±0.01b	12.87±0.16b	0.77±0.01b	84.06±0.99b	18.00±0.18b	31.36±0.29bc

注: 同列不同小写字母表示处理间差异在 $p<0.05$ 水平有统计学意义.

表 2 秸秆还田与氮肥减施处理土壤理化性质的相关性分析

	容质量	平均重量直径	饱和含水量	铵态氮	硝态氮	碱解氮	全氮	有效磷	全磷	速效钾	全钾	有机质
容质量	1.00											
平均重量直径	−0.38	1.00										
饱和含水量	−0.89*	0.63	1.00									
铵态氮	0.33	0.73	−0.01	1.00								
硝态氮	0.14	0.83	0.18	0.97**	1.00							
碱解氮	−0.10	0.95*	0.41	0.90*	0.96**	1.00						
全氮	−0.04	0.91*	0.31	0.92*	0.97**	0.99**	1.00					
有效磷	−0.08	0.95*	0.37	0.90*	0.95*	0.99**	0.98**	1.00				
全磷	−0.20	0.96**	0.44	0.85	0.93*	0.98**	0.98**	0.98**	1.00			
速效钾	0.17	0.81	0.17	0.93*	0.90*	0.89*	0.87	0.93*	0.84	1.00		
全钾	0.24	0.78	0.12	0.96**	0.95*	0.91*	0.90*	0.93*	0.85	0.98**	1	
有机质	0.20	0.81	0.17	0.96**	0.95*	0.92*	0.91*	0.94*	0.86	0.98**	0.99**	1

注：**和*表示经 Pearson 相关性分析分别在 $p<0.01$ 和 $p<0.05$ 水平有统计学意义。

2.2 秸秆全量还田与氮肥减施对高粱产量的影响

从图 4 可以看出，在秸秆全量还田条件下，随着氮肥施用量的增加高粱产量表现出增加的趋势，较不施用氮肥相比，施用氮肥量为 120, 150, 180 kg/hm² 时分别增产 1 688.85, 2 737.75, 2 933.25 kg/hm²，其中当氮肥施用量为 180 kg/hm² 时高粱产量最高，为 6 464.85 kg/hm²，但是当氮肥施用量为 150 kg/hm² 时施用氮肥的边际报酬率最高，为 18.25%(图 5). 与 CK 相比，同等施氮量下秸秆还田的产量显著高于 CK，秸秆还田可增产 168.65 kg/hm². 在秸秆还田条件下，施用 150 kg/hm² 氮肥时的高粱产量和 CK 处于同一水平，这说明在保证产量不减少的条件下，秸秆还田具有减施氮肥的效用。

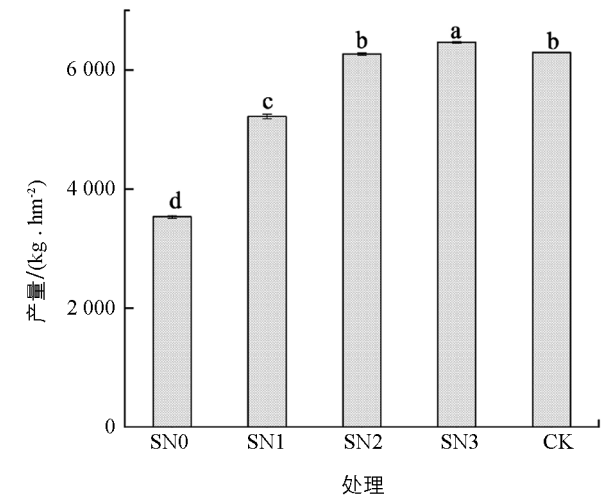


图 4 不同处理下高粱产量

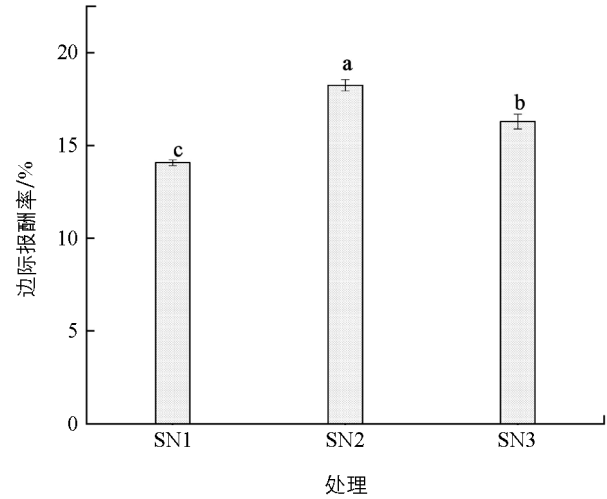


图 5 秸秆还田条件下氮肥施用的边际报酬率

2.3 土壤质量综合评价

由表 3 可知，有两个主成分特征值大于 1，且累计方差贡献率>97%，即表示前两个主成分可以表达原始数据中 97% 以上的土壤信息，能够解释较多的变异性，用前两项主成分信息足以代替原数据信息，即可用来反映系统的变异信息. 其中，土壤容质量主要反映土壤的孔隙状况，一般来说，土壤容质量越大，土壤

往往越紧实, 不利于根系下扎以及水分入渗, 因此将土壤容质量归属于降型隶属度函数. 而土壤团聚体平均重量直径以及土壤饱和含水量主要反映土壤团聚体结构的稳定性和土壤的保水能力. 土壤团聚体平均重量直径和饱和含水量越大, 表示土壤结构越稳定和保水能力越强, 因此归属于升型隶属度函数. 土壤养分和土壤有机质质量分数越高, 表示土壤越肥沃, 越有利植物生长, 因此归属于升型隶属度函数. 在此基础上, 结合表 2 及式(1)–(4), 计算出不同处理的土壤质量评价结果, 如图 6 所示. 在秸秆全量还田条件下, 随着氮肥施用量的增加, 土壤质量综合指数表现出先增加后减小的趋势. 土壤质量综合指数从高到低的处理依次为: SN2 处理、SN1 处理、SN3 处理、CK 处理、SN0 处理, 其土壤质量综合指数分别为 1.47, 0.97, 0.69, 0.67, 0.51.

表 3 主成分分析的因子载荷、特征根和方差贡献率

指标	主成分 1	主成分 2	指标	主成分 1	主成分 2
容质量	−0.001	0.996	全磷	0.966	−0.189
平均重量直径	0.921	−0.379	速效钾	0.946	0.175
饱和含水量	0.324	−0.915	全钾	0.957	0.241
硝态氮	0.937	0.339	有机质	0.966	0.193
铵态氮	0.978	0.142	特征值	9.41	2.29
碱解氮	0.991	−0.105	方差贡献率	77.158	20.264
全氮	0.983	−0.032	累计方差贡献率	77.158	97.422
有效磷	0.995	−0.074			

3 讨论

单位面积内高粱的产量随着氮肥施用量的增加而增加, 但是氮肥的边际报酬率却随着氮肥施用量的增加而减少, 这与汪军等^[16]的研究结果一致. 这可能是因为氮肥添加量较低时, 氮肥是主要的限制因子, 因此随着氮肥施用量的增加, 高粱产量以及单位氮肥的增产量均增加, 但是当氮肥施用量增加到一定数量后, 其主要限制因子会变成其他因素, 这时候氮肥虽然仍是限制因子, 且随着氮肥施用量的增加其产量仍然会增加, 但是由于其他要素的限制, 其单位氮肥的增产量会开始降低, 即出现边际报酬率降低的情况. 随着氮肥的过量施用, 其淋洗损失和氨挥发量也会增加, 从而导致氮肥利用率下降^[16-18], 这也可能是氮肥的边际报酬率开始递减的原因. 秸秆还田具有增产的效果, 在保证相同水平产量下可以减少氮肥的施用, 这与王金金等^[18]的研究结果一致, 这一方面可能是因为秸秆含有较多的养分, 在施入土壤后能够直接增加土壤有效养分的含量, 从而达到增产的目的. 另一方面可能是因为秸秆本身也具有较多的有机质, 在施入土壤后会增加土壤有机质质量分数, 使得微生物可利用碳源增加, 从而促使土壤微生物活性增加. 微生物活动分泌的物质能够间接提升土壤养分的有效性, 改善土壤结构, 从而使根系更好地发育, 对地上部的养分输送能力更强, 这可能是秸秆施用后, 在保证相同产量水平下可以减少化学氮肥施用量的原因^[19-20].

在秸秆全量还田条件下, 随着氮肥施用量的增加, 土壤的团聚体平均重量直径、饱和含水量、有效

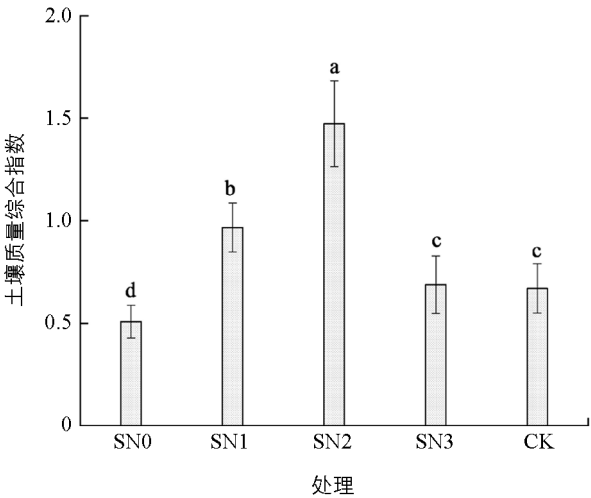


图 6 不同处理的土壤质量综合指数

磷、全磷、速效钾、全钾、有机质以及土壤的综合质量评价指数均表现出先增加后减小的趋势,这与李荣等^[20]和张娟琴等^[21]的研究结果一致.这可能与秸秆还田配施不同氮肥用量可影响秸秆腐解效果有关.秸秆和氮肥施入土壤后,能够增加微生物的活性,而微生物矿化的秸秆能够为土壤提供大量的有效养分和胶结物质,从而提高土壤养分含量,改善土壤团粒结构,提高土壤质量^[22-23].在氮肥含量较低时,由于碳氮比的限制,土壤处于缺氮状态,因此随着氮肥添加量的不断增加,土壤中的碳氮比减小,促进了微生物的活动,从而更有利于土壤中秸秆的腐解,使得更多的分解物被释放到土壤中,改良效果加强^[23-26].然而,当氮肥施用量过高时,对土壤理化性质的改善作用减弱,这可能是因为过高的施氮量致使土壤碳氮比失衡,土壤环境恶化,土壤养分流失^[27].除 SN0 配比外,其余配比的土壤综合质量均高于 CK, Yang 等^[28]在研究中也得到相似的结论.这一方面可能是与 CK 相比,秸秆还田条件下秸秆自身有机碳、氮、磷等营养元素的输入能够显著增加土壤养分含量,从而改善土壤质量.另一方面可能是因为秸秆还田与氮肥配施可改善土壤结构,减少营养元素的流失,提高养分的保留率^[29].在表 1 中可以看出,秸秆全量还田条件下 180 kg/hm² 施氮量处理的铵态氮、硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、全钾、有机质含量均低于 CK 处理.这可能是因为秸秆全量还田条件下 180 kg/hm² 施氮量处理的产量较高,而较高的产量往往会消耗较多的养分.同时在此处理下,由于土壤氮肥施用量较高,可能致使土壤碳氮比失衡,土壤环境恶化,土壤养分流失.

4 结论

在秸秆全量还田条件下,高粱产量随着氮肥施用量的增加而增加,土壤团聚体平均重量直径、饱和含水量、铵态氮、硝态氮、碱解氮、全氮、有效磷、全磷、速效钾、全钾以及有机质均随氮肥用量的增加表现出先增加后减小的趋势.

油菜秸秆全量还田时,最佳施用氮肥量为 150 kg/hm²,此时土壤的养分含量较高,物理性质较优,土壤综合质量最好,且产量与 CK 处理处于同一水平.

参考文献:

- [1] 陈方鑫,卢少勇,冯传平.农业秸秆复合 PAM 对湖滨带土壤改良效果的研究[J].农业环境科学学报,2016,35(4): 711-718.
- [2] 郑旭川,孙现超,张帅,等.饼肥施用量与种植密度对“云烟 87”品质的影响[J].西南师范大学学报(自然科学版),2021,46(2): 56-61.
- [3] 王晨光,郝珊,陆思旭,等.添加 PAM 对城市绿地换填介质性质的影响[J].水土保持学报,2020,34(3): 356-361.
- [4] 张露,郭晴.秸秆资源化利用的大气污染物排放机理、时空规律与减排策略研究[J].西南大学学报(自然科学版),2020,42(7): 143-153.
- [5] 王毅,张俊清,况帅,等.施用小麦秸秆或其生物炭对烟田土壤理化特性及有机碳组分的影响[J].植物营养与肥料学报,2020,26(2): 285-294.
- [6] 王如芳,张吉旺,董树亭,等.我国玉米主产区秸秆资源利用现状及其效果[J].应用生态学报,2011,22(6): 1504-1510.
- [7] 刘兆辉,薄录吉,李彦,等.氮肥减量施用技术及其对作物产量和生态环境的影响综述[J].中国土壤与肥料,2016(4): 1-8.
- [8] 王晋鹏,刘长庆,陈慧玉,等.保水缓释肥对苹果幼树生长及土壤酶活性的影响[J].河南农业大学学报,2022,56(3): 401-410.
- [9] 王英,徐连敬,孙健,等.免耕和免耕覆秸耕播模式对土壤物理性质影响的研究[J].东北农业大学学报,2023,54(2): 75-86.

[10] 李虎. 小清河流域农田非点源氮污染定量评价研究 [D]. 北京：中国农业科学院，2009.

[11] 张建军，党翼，赵刚，等. 秸秆还田与氮肥减施对旱地春玉米产量及生理指标的影响 [J]. 草业学报，2019，28(10)：156-165.

[12] 庞党伟，陈金，唐玉海，等. 玉米秸秆还田方式和氮肥处理对土壤理化性质及冬小麦产量的影响 [J]. 作物学报，2016，42(11)：1689-1699.

[13] 付丽波，王毅，瞿兴，等. 秸秆和氮肥配合施用对高肥力植烟土壤理化性质的影响 [J]. 华中农业大学学报，2004，23(3)：295-299.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000.

[15] 黄婷，刘政鸿，王钰莹，等. 陕北黄土丘陵区不同立地条件下刺槐群落的土壤质量评价 [J]. 干旱区研究，2016，33(3)：476-485.

[16] 汪军，王德建，张刚. 太湖地区稻麦轮作体系下秸秆还田配施氮肥对水稻产量及经济效益的影响 [J]. 中国生态农业学报，2011，19(2)：265-270.

[17] SONG X N, ZHANG J L, PENG C R, et al. Replacing Nitrogen Fertilizer with Nitrogen-Fixing Cyanobacteria Reduced Nitrogen Leaching in Red Soil Paddy Fields [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2021, 312(1)：107320.

[18] 王金金，刘小利，刘佩，等. 秸秆还田条件下减施氮肥对旱地冬小麦水氮利用、光合及产量的影响 [J]. 麦类作物学报，2020，40(2)：210-219.

[19] 张忠学，温金祥，吴文良. 华北平原冬小麦夏玉米不同培肥措施的节水增产效应研究 [J]. 应用生态学报，2000，11(2)：219-222.

[20] 李荣，侯贤清，吴鹏年，等. 秸秆还田配施氮肥对土壤性状与水分利用效率的影响 [J]. 农业机械学报，2019，50(8)：289-298.

[21] 张娟琴，郑宪清，张翰林，等. 长期秸秆还田与氮肥调控对稻田土壤质量及产量的影响 [J]. 华北农学报，2019，34(1)：181-187.

[22] 张聪，慕平，尚建明. 长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响 [J]. 水土保持研究，2018，25(1)：92-98.

[23] 丁雪丽，何红波，李小波，等. 不同供氮水平对玉米秸秆降解初期碳素矿化及微生物量的影响 [J]. 土壤通报，2008，39(4)：784-788.

[24] 汪军，王德建，张刚，等. 连续全量秸秆还田与氮肥用量对农田土壤养分的影响 [J]. 水土保持学报，2010，24(5)：40-44, 62.

[25] 李涛，何春娥，葛晓颖，等. 秸秆还田施氮调节碳氮比对土壤无机氮、酶活性及作物产量的影响 [J]. 中国生态农业学报，2016，24(12)：1633-1642.

[26] 黄容，高明，万毅林，等. 秸秆还田与化肥减量配施对稻-菜轮作下土壤养分及酶活性的影响 [J]. 环境科学，2016，37(11)：4446-4456.

[27] 邹振浩，沈晨，李鑫，等. 我国茶园氮肥利用和损失现状分析 [J]. 植物营养与肥料学报，2021，27(1)：153-160.

[28] YANG H S, YANG B, DAI Y J, et al. Soil Nitrogen Retention is Increased by Ditch-Buried Straw Return in a Rice-Wheat Rotation System [J]. European Journal of Agronomy, 2015, 69：52-58.

[29] 王学敏，刘兴，郝丽英，等. 秸秆还田结合氮肥减施对玉米产量和土壤性质的影响 [J]. 生态学杂志，2020，39(2)：507-516.