

生物质炭对烤烟干物质积累量及 根际土壤理化性质的影响

王丽渊,刘国顺,王林虹,张康旭,刘红恩,丁松爽,贾方方

(河南农业大学 烟草行业烟草栽培重点实验室,河南 郑州 450002)

摘要:为初步探讨生物质炭对烤烟生长及根际土壤理化性质的影响,通过盆栽试验,研究了在施用化肥的基础上添加不同量(70,140,210 g/盆)生物质炭对烤烟干物质积累量及根际土壤酶活性、土壤有机质含量、土壤微生物量碳(SMBC)的影响。结果表明:施加生物质炭提高了烤烟生育中、后期干物质积累量,且添加140 g/盆生物质炭处理效果最明显。在烤烟移栽后80 d内,生物质炭抑制根际土壤转化酶活性,但这种抑制作用随着生育期的推进而逐渐减小,至移栽后80 d,添加70 g/盆生物质炭处理的土壤转化酶活性超过了同时期不添加生物质炭的处理;施加生物质炭可以提高烤烟生育后期过氧化氢酶活性,移栽80 d后,土壤过氧化氢酶活性随着生物质炭添加量的增加而提高。土壤有机质含量随着生物质炭添加量的增加而显著提高;在烤烟生长后期,施加生物质炭对土壤微生物量碳具有提高作用,以140 g/盆生物质炭处理效果最明显,70 g/盆处理次之。因此,施加生物质炭可以显著提高烤烟全生育期根际土壤有机质含量,改善土壤质量(生长后期),促进烤烟生长,且以施加70,140 g/盆生物质炭处理表现出的综合效果较好。

关键词:烤烟;生物质炭;根际土壤;理化性质;干物质积累

中图分类号:S572 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2014)01-0140-05

Effects of Biochar on Dry Matter Accumulation of Flue-cured Tobacco and Physical and Chemical Property of Rhizosphere Soil

WANG Li-yuan, LIU Guo-shun, WANG Lin-hong, ZHANG Kang-xu,
LIU Hong-en, DING Song-shuang, JIA Fang-fang

(National Tobacco Cultivation & Physiology & Biochemistry Research Centre, Henan Agricultural
University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: For exploring the effects of biochar application on flue-cured tobacco growth and the physical and chemical property of rhizosphere soil. A pot experiment was conducted to study the accumulation of tobacco leaf dry matter, rhizosphere soil properties so as: soil enzyme activity, content of soil organic matter, soil SMBC by applying different amount (70, 140, 210 g/20 kg) of biochar. The results showed that: The application of biochar increased the dry matter accumulation of tobacco at the middle and late growth stage, and the effect with 70 g biochar application was most obvious. Biochar inhibited the activity of soil invertase, but the inhibition decreased with the development of growth period, and at 90 days after transplanting, the activity of soil invertase with 70 g biochar application was higher than CK. Biochar can increase the activity of catalase at the late growth stage. The application of biochar significantly increased content of organic matter in the whole growth period, increased soil SMBC in the late growth stage. So, the application of biochar can significantly increased content of organic matter, modified growth environments of flue-cured tobacco, and improved its growth, low-to-mid application rate of biochar (70, 140 g/20 kg) has the better effects.

Key words: Tobacco; Biochar; Rhizosphere soil; Physical and chemical property; Dry matter accumulation

农田土壤有机碳矿化释放 CO₂ 是温室气体排放的重要途径^[1], 随着温室气体减排任务实施日益

收稿日期:2013-06-24

基金项目:中国烟草总公司浓香型特色优质烟叶开发重大专项(110201101001(TS-01))

作者简介:王丽渊(1987-),女,河南滑县人,在读硕士,主要从事烟草栽培生理生化研究。

通讯作者:刘国顺(1954-),男,河南叶县人,教授,博士生导师,主要从事烟草栽培生理生化研究与教学工作。

艰难^[2],减少土地利用中温室气体排放、增加陆地生态系统碳汇是当前气候变化研究的热点之一。向土壤中施加生物质炭可以调节生态系统土壤碳库自然平衡^[3-5],从而提高土壤碳库容量^[6]。另外,施加生物质炭可以明显改善土壤质量、提高作物产量^[1,6-11]。因此,施加生物质炭有望成为应对气候变化的增汇、增产的双赢途径。目前,生物质炭对黑麦草、菠菜、大豆、水稻、玉米等作物生长影响的研究报道较多^[1,8-9,12-15],然而对烤烟生长以及植烟土壤理化性质影响的研究尚未见报道。并且,生物质炭土壤环境效应研究主要集中在耕层土壤,对作物根际土壤的研究不多。为此,本研究探讨了不同生物质炭用量对烤烟干物质积累量、根际土壤酶活性、土壤有机质含量及土壤微生物量碳(SMBC)的作用,以期找出生物质炭对烟草根际微环境的影响方式以及作用规律,为深入研究生物质炭在烟田的应用提供理论依据,并丰富生物质炭化还田方面的科学资源。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验于 2012 年在河南农业大学许昌校区进行,供试土壤采自校区 0~20 cm 土壤,为砂壤土。土壤含有机质 11.07 g/kg、碱解氮 30.46 mg/kg、速效磷 19.34 mg/kg、速效钾 108.52 mg/kg, pH 值 6.2。土壤风干后,过 2 mm 网筛。

生物质炭由三利新能源有限公司提供,利用连续炭化炉,由小麦秸秆在 400~500 °C 下,低氧、连续炭化 12 h 制得。生物质炭基本理化性质为:比表面积(按过 0.85 mm 筛计) 16.71 m²/g,容重 0.21 g/cm³,pH 值 9.15,含碳 524.1 g/kg、全氮 2.30 g/kg、磷 6.5 g/kg、钾 9.87 g/kg。由于生物质炭储藏过程中吸收了空气中的水分,装盆前风干,并过 2 mm 网筛。

1.2 试验设计

试验设 4 个处理。对照(CK):常规施用化肥,T1:常规施用化肥+70 g/盆生物质炭,T2:常规施用化肥+140 g/盆生物质炭,T3:常规施用化肥+210 g/盆生物质炭。各处理的化肥用量一致,氮素 3 g/盆, $m(N):m(P_2O_5):m(K_2O)=1:1.5:3$ 。N、P、K 肥分别为分析纯硝酸铵、磷酸二氢钾、硝酸钾。每盆装土 20 kg,将生物质炭、化肥与土壤混合均匀后装盆,试验地起垄,按 120 cm×55 cm 的行株距,将盆埋于垄上(盆高度的 3/4)。5 月 15 日挑选长势、大小一致的健壮烟苗移栽于盆中,定量浇水。每个处理 30

盆,共 120 盆。各处理均在移栽后 35 d 进入旺长期,烟株现蕾后打顶(7 月 25~29 日,移栽后 71~75 d),并定时抹去腋芽,单株留叶 22 片。其他栽培管理措施按当地常规方法进行。

1.3 样品采集及指标测定方法

在烤烟移栽后 35、50、65、80、95 d,每个处理选取 3 株有代表性的烟株。将整个植株连根一起挖出,用抖根法取烤烟根际土壤。将整株烤烟在 105 °C 杀青 15 min,60 °C 烘干,然后称重;将烤烟根、茎、叶分开,分别进行杀青、烘干、称重。

土壤有机质含量用重铬酸钾容量法测定^[16];过氧化氢酶活性采用高锰酸钾滴定法测定,其活性用 1 g 土样 30 min 内分解 H₂O₂ 的毫克数表示(1 mL 0.1 mol/L 的 KMnO₄ 相当于 1.7 mg H₂O₂)^[17];转化酶活性采用 3,5-二硝基水杨酸(DNS)比色法测定,其活性用室温培养 24 h 后 1 g 土壤中葡萄糖的毫克数表示^[17];SMBC 含量采用氯仿熏蒸-K₂SO₄浸提法测定^[18],SMBC 含量(Bc)= Ec/Kc , Ec 表示未熏蒸与未熏蒸土壤的浸取有机碳的差值, Kc 为转换系数,取值 0.38。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.5 统计软件进行数据的统计及方差分析。

2 结果与分析

2.1 生物质炭对烤烟干物质积累量的影响

干物质积累量是衡量烟株生长发育的重要指标,烤烟不同生育期的干物质积累状况反映了植株各时期的生长发育状况^[19]。由表 1 可知,移栽后 35~80 d,烤烟根、茎、叶干物质迅速积累,从 32.51~39.88 g/株增加到 587.21~729.79 g/株。移栽后 35 d,与 CK 相比,施加生物质炭处理烤烟的干质量均显著降低。移栽后 50 d,T1、T2 整株干质量较 CK 稍有增减,但差异不显著;T3 整株干质量显著下降,具体表现为 T1>CK>T2>T3;T1、T2 处理根干质量显著高于 CK,增幅分别为 13.73% 和 5.09%。移栽后 65、80 d,施加生物质炭处理烤烟整株干质量、茎干质量均较 CK 显著提高,T2、T3 处理烟叶干质量也显著高于 CK,在这 2 个时期,添加生物质炭处理烟叶干质量、茎干质量、整株干质量最高增幅分别达 24.99%、37.95%、24.31%。

由此可见,施加生物质炭促进了烤烟干物质积累(移栽后 35 d 除外),尤其在烤烟移栽后 50 d,施加生物质炭对烤烟根(地下部分)的干物质积累有明显促进作用;移栽后 65、80 d,对烤烟茎叶(地上部分)

的干物质积累促进效果更显著,尤其是 T2 处理。

表 1 不同用量生物质炭对烤烟干物质积累量的影响

Tab.1 Effect of biochar on dry matter accumulation of flue-cured tobacco g/株

| 项目 Items | 处理 Treatment | 移栽后天数/d Days after transplanting | | | |
|----------------------|-----------------|-------------------------------------|----------|---------|---------|
| | | 35 | 50 | 65 | 80 |
| 叶 Leaf | CK | 30.71a | 92.94a | 203.81b | 274.51c |
| | T1 | 26.54b | 92.11a | 198.39b | 270.18c |
| | T2 | 26.23b | 87.47ab | 222.56a | 343.11a |
| | T3 | 25.19b | 80.42b | 215.49a | 305.82b |
| 茎 Stem | CK | 6.27a | 39.44a | 88.42d | 197.95b |
| | T1 | 5.79b | 42.44a | 110.38a | 265.15a |
| | T2 | 4.96c | 38.06a | 100.63b | 253.13a |
| | T3 | 4.99c | 39.38a | 94.89c | 254.30a |
| 根 Root | CK | 2.91a | 23.95c | 65.03b | 114.75b |
| | T1 | 2.51bc | 27.24a | 72.56a | 114.11b |
| | T2 | 2.54b | 25.17b | 50.31d | 133.55a |
| | T3 | 2.34c | 23.93c | 58.59c | 126.07a |
| 整株 Whole plant | CK | 39.88a | 156.32ab | 357.26c | 587.21c |
| | T1 | 34.83b | 160.79a | 381.33a | 649.44b |
| | T2 | 33.73bc | 150.70bc | 373.50b | 729.79a |
| | T3 | 32.51c | 143.73c | 368.97b | 686.19b |

注:不同小写字母表示差异达到显著水平($P < 0.05$)。表 2~3 同。

Note: The different small letters mean significant levels at $P < 0.05$.

The same as Tab. 2~3.

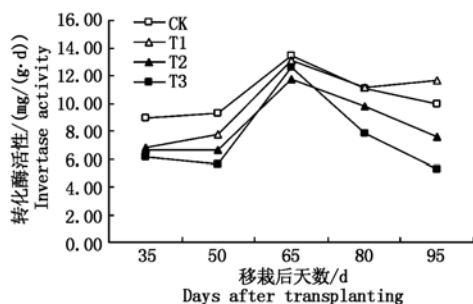


图 1 不同用量生物质炭对烤烟根际土壤转化酶活性的影响

Fig.1 Effect of biochar on invertase activity in rhizosphere soil

2.2 生物质炭对烤烟根际土壤酶活性的影响

2.2.1 转化酶 转化酶活性不仅能够表征土壤生物学活性强度,同时可作为评价土壤熟化程度和土壤肥力水平的指标,一般情况下,土壤肥力越高,转化酶活性越强^[20-21]。由图 1 可知,烤烟全生育期内,各处理的土壤转化酶活性均呈先升高后降低的变化趋势,移栽后 65 d 达到最大值。移栽后 35 d,施加生物质炭处理的土壤转化酶活性显著低于 CK,而且生物质炭用量越大,土壤转化酶活性降幅越大;之后,随着生育期的推进,施加生物质炭处理的转化酶活性与 CK 的差距逐渐缩小,T1 在移栽后 80 d 超过 CK。这表明,在生物质炭施入土壤初期,生物质

炭对土壤转化酶起抑制作用,但这种抑制作用随着生育期的推进逐渐减小,只有 T1 处理在移栽后 95 天转化酶活性高于对照。在本试验中添加生物质炭对转化酶活性作用不明显。

2.2.2 过氧化氢酶 土壤过氧化氢酶能够促进过氧化氢分解,防止过氧化氢和各种自由基对生物体的毒害作用,是生物细胞的一类保护酶,其活性可用来表征土壤氧化强度。由图 2 可知,随着烤烟生育期的推进,土壤过氧化氢酶活性呈升高-降低-升高-降低的变化趋势,移栽后 50,80 d 分别出现工作峰值,生物质炭对过氧化氢酶活性先抑制后促进。移栽后 35 d,施加生物质炭处理 T1、T2、T3 的土壤过氧化氢酶活性分别为 0.27,0.27,0.24 mg/(g·min),低于同时期对照(0.29 mg/(g·min))。移栽后 50 d, T1 过氧化氢酶活性为 0.40 mg/(g·min),超过同时期 CK(0.38 mg/(g·min))。移栽后 95 d,各处理过氧化氢酶活性分别为 0.23,0.24,0.26,0.28 mg/(g·min),具体表现为 T3 > T2 > T1 > CK。由此可见,在烤烟生育后期,生物质炭可以提高根际土壤过氧化氢酶活性,尤其是 T1、T2 处理。

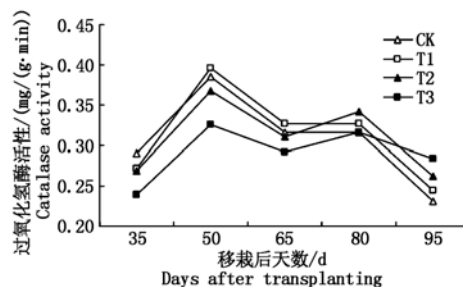


图 2 不同用量生物质炭对烤烟根际土壤过氧化氢酶活性的影响

Fig.2 Effect of biochar on catalase activity in rhizosphere soil

2.3 生物质炭对烤烟根际土壤有机质和微生物量碳含量的影响

2.3.1 有机质 由表 2 可知,各生育期烤烟根际土壤有机质含量均随着生物质炭添加量的增加而显著提高,不同时期各处理间差异均达到显著水平。全生育期,T1、T2、T3 处理有机质含量分别较 CK 增加 7.9%~42.7%,16.21%~108.52%,43.48%~121.94%,增幅均以烤烟移栽后 50 d 最大。由此可见,施加生物质炭显著提高了根际土壤有机质含量,有利于土壤有机质积累,长期施用有望改善我国大部分植烟土壤有机质含量偏低的现状。

2.3.2 SMBC 由表 3 可以看出,烤烟全生育期内各处理 SMBC 含量均呈先升高后降低的趋势,在移栽后 65 d 达到最大值。移栽后 35 d,施加生物质炭处理的 SMBC 含量均有不同程度的下降。移栽后

50 d,各处理 SMBC 含量差异不显著。移栽后 65 d, T3 处理的 SMBC 含量较 CK 显著提高。移栽后 80, 95 d,与 CK 相比,施加生物质炭处理的 SMBC 含量有不同程度的增加。其中,移栽后 80 d T1,移栽后 95 d T1、T2 的 SMBC 含量显著高于同时期 CK。可见,施加生物质炭可以增加烤烟生长后期烤烟根际 SMBC 含量。SMBC 作为土壤有机库中的活性部分,被认为是易于被植物利用的养分库。因此,SMBC 含量提高,也就是养分供应的容量和强度提高。

表 2 不同用量生物质炭对烤烟根际土壤有机质含量的影响

Tab.2 Effect of biochar on organic matter

content in rhizosphere soil

g/kg

| 处理 Treatment | 移栽后天数/d Days after transplanting | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 35 | 50 | 65 | 80 | 95 |
| CK | 10.73d | 10.21d | 11.61d | 11.41d | 13.57d |
| T1 | 11.58c | 14.57c | 13.38c | 12.90c | 14.80c |
| T2 | 16.88b | 21.29b | 21.79b | 17.76b | 15.77b |
| T3 | 19.95a | 22.66a | 22.57a | 21.79a | 19.47a |

表 3 不同用量生物质炭对烤烟根际 SMBC 含量的影响

Tab.3 Effect of biochar on SMBC

content in rhizosphere soil

mg/kg

| 处理 Treatment | 移栽后天数/d Days after transplanting | | | | |
|-----------------|-------------------------------------|---------|---------|----------|----------|
| | 35 | 50 | 65 | 80 | 95 |
| CK | 241.35a | 380.73a | 416.32b | 230.31b | 225.51b |
| T1 | 153.00bc | 387.52a | 407.21b | 343.55a | 335.88a |
| T2 | 197.21ab | 392.26a | 413.42b | 318.55ab | 364.82a |
| T3 | 133.52c | 378.72a | 448.50a | 264.29ab | 291.43ab |

3 结论与讨论

3.1 生物质炭对土壤-作物系统发挥积极作用的时间限制

本研究结果表明,土壤中施加生物质炭能提高烤烟生长中、后期整株干物质积累量。这一结果与生物质炭对野草植株覆盖率^[22]、黑麦草生长发育^[1]以及谷物产量^[14]的影响一致。本研究进一步发现,烤烟移栽后 50 d,施加生物质炭能有效促进烤烟根(地下部分)的生长,移栽后 65,80 d,对烤烟茎、叶(地上部分)生长的促进效果更显著。

另外,本研究表明,在生物质炭施入土壤初期,生物质炭降低了烤烟干物质积累量、根际土壤酶活性及 SMBC 含量。与此结果相似,Major 等^[15]在哥伦比亚热带草原施用生物质炭后发现,除第 1 年外,后 3 年玉米产量连续提高;Steiner 等^[14]报道,在巴西亚马逊氧化土上施用生物质炭 1 年后(11 t/hm²),第 2,3 年 4 个生长季中大米和高粱的产量提高了

75%;黄超等^[9]在种植黑麦草时发现,在施加生物质炭的第 2 年,黑麦草产量提高。故推测生物质炭在施入土壤一段时间之后才会对土壤-作物系统发挥积极作用。

3.2 基于施加生物质炭土壤的有机质形态属性

土壤有机质是指存在于土壤中的所有含碳的有机物质,其含量是有机质积累和矿化分解平衡的结果。本研究表明,烤烟全生育期土壤有机质含量均随着生物质炭施用量的增加而显著提高。关于生物质炭提高土壤有机质含量的报道很多:Middelburg^[23]通过试验证实了炭化的植物秸秆有助于土壤有机质的积累,周桂玉等^[24]和黄超等^[9]的研究也得出相同结论。本研究发现,配施生物质炭对 SMBC 含量的影响同对有机质含量的影响不同,不是随着生物质炭用量增加而提高,而是在生育前期降低、中期影响不大、后期稍有提高。SMBC 作为易被氧化的有机质,被认为是易于被植物利用的养分库,可以作为活性有机质变化的指标^[25]。SMBC 变化规律与土壤有机质并不一致,施加生物质炭提高了土壤有机质的积累量,但这些有机质中有多少是易于矿化、对植物养分供应有直接作用的活性有机质,尚需要进一步研究。

参考文献:

- [1] 花莉,张成,马宏瑞,等. 秸秆生物质炭土地利用的环境效益研究[J]. 生态环境学报,2010,19(10): 2489-2492.
- [2] Lal R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security[J]. Science,2004,304(11): 1623-1627.
- [3] Okimori Y,Ogawa M,Takahashi F. Potential of CO₂ emission reductions by carbonizing biomass waste from industrial tree plantation in south Sumatra,Indonesia[J]. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,2003(8):261-280.
- [4] Sohi S,Lopez-Capel E,Krull E,et al. Biochar,climate change and soil:A review to guide future research[J]. CSIRO Land and Water Science Report,2009,5(9):17-31.
- [5] Lehmann J,Joseph S. Biochar for environmental management:science and technology[M]. London: Earthscan, 2009:1-448.
- [6] Rondon M,Ramirez J A,Lehmann J. Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere[C]. Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration in Agriculture and Forestry,2005:21-24.
- [7] 刘玉学,刘微,吴伟祥,等. 土壤生物质炭环境行为

- 与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977 - 982.
- [8] 郭伟, 陈红霞, 张庆忠, 等. 华北高产农田施用生物质炭对耕层土壤总氮和碱解氮含量的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(3): 425 - 428.
- [9] 黄超, 刘丽君, 章明奎, 等. 生物质炭对红壤性质和黑麦草生长的影响[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2011, 37(4): 439 - 445.
- [10] Hoshi T, Kaneko T. A practical study on bamboo charcoal use to tea trees [R]. Japan: Tokyo University, 2001, 13: 1 - 47.
- [11] Glaser B, Haumaier L, Guggenberger G, *et al.* Black carbon in soils the use of benzenecarboxylic acids as specific markers[J]. Organic Geochemistry, 1998, 29(4): 811 - 819.
- [12] 曲晶晶, 郑金伟, 郑聚锋, 等. 小麦秸秆生物质炭对水稻产量及晚稻氮素利用率的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2012, 28(3): 288 - 293.
- [13] 张万杰, 李志芳, 张庆忠, 等. 生物质炭和氮肥配施对菠菜产量和硝酸盐含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 1946 - 1952.
- [14] Steiner C, Teixeira W, Lehmann J, *et al.* Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil[J]. Plant and Soil, 2007, 291: 275 - 290.
- [15] Major J, Rondon M, Molina D, *et al.* Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a colombian savanna oxisol[J]. Plant and Soil, 2010, 333(1): 117 - 128.
- [16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [17] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
- [18] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C[J]. Soil Biology and Biochemistry, 1987, 19: 703 - 707.
- [19] 汪耀富, 张福锁. 干旱和氮用量对烤烟干物质和矿质养分积累的影响[J]. 中国烟草学报, 2003, 9(1): 19 - 23.
- [20] Dick R P, Myrold D D, Kerle E A. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils[J]. Soil Sci Am J, 1998, 52: 512 - 516.
- [21] 邱莉萍, 刘军, 王益权, 等. 土壤酶活性与土壤肥力的关系研究[J]. 植物营养与肥料报, 2004, 10(3): 277 - 280.
- [22] Major J, Steiner C, Dittomasso A, *et al.* Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications[J]. Weed Biology Management, 2005, 5: 69 - 76.
- [23] Middelburg J J, Nieuwenhuize J, van Breugel P. Black carbon in marine sediments [J]. Marine Chemistry, 1999, 65(3): 245 - 252.
- [24] 周桂玉, 窦森, 刘世杰, 等. 生物质炭结构性质及其对土壤有效养分和腐殖质组成的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(10): 2075 - 2080.
- [25] 胡诚, 曹志平, 叶钟年, 等. 不同的土壤培肥措施对低肥力农田土壤微生物生物量碳的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(3): 808 - 814.