应用生态学报 2015年11月 第26卷 第11期
Chinese Journal of Applied Ecology, Nov. 2015, **26**(11): 3353-3360

氮肥运筹对砂田西瓜产量、品质及氮素积累与转运的影响*

马忠明[1**] 杜少平[2] 薛 亮[3]
([1]甘肃省农业科学院, 兰州 730070; [2]甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070; [3]甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

摘 要 通过田间试验研究了不同氮肥运筹方式对砂田西瓜产量、品质及氮素和干物质积累与转运的影响.结果表明: 基肥氮过低或过高均不利于砂田西瓜苗期生长,伸蔓期或膨果期不施氮肥则限制了西瓜"源"或"库"的形成,在相同的施氮量水平下,T_4(30%基肥+30%伸蔓肥+40%膨瓜肥)和T_6[100%基肥+长效复合肥添加剂(NAM)]处理较传统施肥模式T_1(30%基肥+70%伸蔓肥)西瓜坐果后茎叶干物质和氮素积累量显著降低,而果实干物质和氮素积累量显著增加.其中,T_4处理的氮素运转率和氮素贡献率分别达到33.6%和12.0%,T_4和T_6处理的氮素收获指数、氮肥偏生产力和氮肥利用率较传统施肥模式T_1分别显著提高14.1%和12.7%、11.6%和12.5%、5.3%和8.7%.T_4和T_6处理较T_1西瓜分别增产11.6%和12.5%,可溶性糖含量分别显著提高16.5%和11.7%,有效酸度分别提高4.5%和2.8%,糖酸比分别提高19.4%和13.4%,Vc含量分别提高35.6%和19.0%.因此,T_4和T_6处理为砂田西瓜高产优质的较优氮肥运筹模式,若减轻砂田施肥难度,延长砂田使用年限,可采用100%基肥+NAM(T_6)的施肥方式.

关键词 氮肥运筹; 西瓜; 产量; 品质; 氮肥利用率
文章编号 1001-9332(2015)11-3353-08 **中图分类号** S318 **文献标识码** A

Effects of nitrogen management on yield, quality, nitrogen accumulation and its transportation of watermelon in gravel-mulched field.

MA Zhong-ming[1], DU Shao-ping[2], XUE Liang[3] ([1]*Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*; [2]*Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*; [3]*Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou* 730070, *China*). *-Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, **26**(11): 3353-3360.

Abstract: The effects of nitrogen management on yield, quality, nitrogen and dry matter accumulation and transportation of watermelon in sand field were studied based on a field experiment. The results showed that too low or too high basal nitrogen fertili-zation was unfavorable to seedling growth of watermelon in sand field, and no nitrogen application at vine extension or fruiting stages limited the formation of 'source' or 'sink'. At the same nitrogen rate, compared with the traditional T_1 treatment (30% basal N fertilizer + 70% N fertilizer in vine extension), the nitrogen and dry matter accumulation of vegetative organs of T_4 treatment (30% basal N fertilizer + 30% N fertilizer in vine extension + 40% N fertilizer in fruiting) and T_6 treatment (100% basal N fertilizer + NAM) were reduced significantly, but the nitrogen and dry matter accumulation of fruit were increased significantly in the flushing period. The nitrogen transportation ratio and nitrogen contribution ratio of T_4 were 33.6% and 12.0%, respectively. Compared to T_1, the nitrogen harvest index, nitrogen fertilizer partial factor productivity and nitrogen fertilizer recovery efficiency of T_4 and T_6 treatments increased by 14.1% and 12.7%, 11.6% and 12.5%, 5.3% and 8.7%, respectively, and yield of watermelon increased by 11.6% and 12.5%, the soluble sugar, effective acid, the ratio of sugar and

* 国家西甜瓜产业技术体系土壤肥料岗位项目(CARS-26-20)和农业部西北地区蔬菜科学观测实验站项目(2015-A2621-620321-G1203-066)资助.
** 通讯作者. E-mail: mazhming@163.com
2015-01-07 收稿,2015-08-31 接受.

acid, Vc content increased by 16.5% and 11.7%, 4.5% and 2.8%, 19.4% and 13.4%, 35.6% and 19.0%, respectively. Therefore, T_4 and T_6 treatments were the optimal nitrogen fertilizer management mode which could not only achieve high yield and quality but also obtain high nitrogen fertilizer use efficiency in sand field. T_6 treatment was the best nitrogen fertilizer management mode considering reduction of fertilizing labor intensity and extending service time of gravel-mulched field.

Key words: nitrogen fertilizer management; watermelon; yield; quality; nitrogen use efficiency.

砂田是指在土地表面覆 10~15 cm 厚的砂砾,具有增温保墒、阻止水土流失和土壤次生盐渍化的作用[1-5].砂田主要分布在我国降雨偏少的甘肃中部以及宁夏、青海和新疆的部分地区[6],是我国西北干旱半干旱地区独特的、传统的抗旱耕作方式,属土壤覆盖和水土保持方法之一.近年来,随着砂田瓜菜产业的兴起,砂田西瓜因其含糖量高、瓤质细嫩多汁、甘甜爽口且营养全面合理而驰名中外.近年来,种植面积逐年扩大[7],其中甘肃砂田面积已稳定在 4.5 万 hm^2 左右,宁夏压砂西瓜发展至近 6.67 万 hm^2,砂田西瓜已成为当地一大主导产业,有效地促进了农民增收和地方经济的发展[8].

氮是构成西瓜体内蛋白质、核酸、叶绿素以及多种酶和多种维生素的主要成分,氮素营养水平直接影响西瓜的产量和品质[9].合理的氮肥施用量和运筹方式不仅是作物获得优质、高产的关键,还是提高氮肥利用率、降低成本、获得较高经济效益,避免或减少环境污染和危害的有效途径[10-12].目前,在施氮量对西瓜产量、品质及养分吸收利用影响方面已有大量研究[13-16],而关于氮肥运筹对西瓜产量、品质及养分积累与运转的调控效应鲜见报道.砂砾覆盖增加了砂田施肥的难度和强度,另外,为了保护砂田,避免砂土混合,肥料一般只施在砂层之下土壤之上,加之气候干旱、降雨少,肥料利用率较低,这已成为限制砂田西瓜产业可持续发展的瓶颈[17].为此,本试验设置了旱砂田西瓜不同生育时期的氮肥基、追肥比例并结合长效复合肥添加剂(NAM)处理,通过对西瓜产量、品质及氮素积累、分配、运转和利用率的影响分析,旨在为砂田西瓜高产优质基础上氮肥的科学管理提供理论依据和技术支持.

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

试验于 2013 年在甘肃省农业科学院皋兰试验站(36°13′ N,103°42′ E)进行,海拔 1830 m,属温带半干旱气候区,降水少且变率大,季节分配不均,多年平均降水量 260 mm,多集中在 7—9 月,占全年降水量的 60%以上,年平均气温 7.0 ℃,≥10 ℃的活动积温为 2798 ℃,无霜期 142 d.土壤质地为砂土,土壤肥力偏低,播前土壤基础养分含量(0~20 cm 土层):有机质 3.77 g·kg^{-1}、全氮 0.47 g·kg^{-1}、碱解氮 27.44 mg·kg^{-1}、速效磷 6.42 mg·kg^{-1}、速效钾 84.33 mg·kg^{-1}、pH 8.49.西瓜全生育期降雨量为 125 mm.

1.2 试验材料

供试西瓜品种为甘肃省农业科学院蔬菜研究所培育的陇抗九号.供试氮肥为尿素(N 46%)、磷肥为过磷酸钙(P_2O_5 12%)、钾肥为硫酸钾(K_2O 50%).NAM 是中国科学院沈阳应用生态研究所研制的长效复合肥添加剂,该添加剂采用硝化抑制剂、脲酶抑制剂和磷素活化剂复配而成,对肥料中的氮素具有长效缓释功能,可使肥效期延长至 120 d.

1.3 试验设计

根据氮肥的施用方式设 6 个处理,以不施氮肥为对照,6 个处理肥料施用量一致,即 N 200 kg·hm^{-2}、P_2O_5 170 kg·hm^{-2}、K_2O 260 kg·hm^{-2}.其中:磷肥 100%做基肥;钾肥 50%做基肥,50%做追肥于西瓜膨瓜期施入;氮肥施肥方案见表 1,其中 T_6 处理施 NAM.基肥于播前瓜行条施,追肥在宽窄膜交接处扒开砂层进行穴施.小区面积 4.5 m×7 m,3 次重复,随机区组排列.

西瓜于 2013 年 4 月 10 日播种,7 月 20 日收获,播种方式为宽窄行“品”字形穴播,窄行 0.6 m,宽行 0.9 m,株距 0.8 m,播种密度为 16680 株·hm^{-2},播后进行宽窄膜相配套的全膜覆盖技术,其他管理措施按常规.

1.4 测定项目与方法

1.4.1 氮素含量的测定 分别于西瓜苗期、伸蔓期、坐果期、成熟期,每小区选取具有代表性的植株 5 株,按叶片、瓜蔓、果实等器官分样,105 ℃杀青 30 min,80 ℃下烘干至恒量,称干质量.采用浓硫酸消煮、半微量凯氏定氮法测定植株全氮含量[18].

1.4.2 西瓜产量与品质的测定 西瓜成熟时,每小区随机选取具有代表性的 10 个瓜计算单瓜质量,并

表 1　施肥方案

Table 1　Fertilization scheme (kg · hm^{-2})

处理 Treatment	播前 Before seeding		伸蔓期 Vine stage		膨瓜期 Fruiting stage	
	施氮比例 N application ratio (%)	施氮量 N application rate (kg · hm^{-2})	施氮比例 N application ratio (%)	施氮量 N application rate (kg · hm^{-2})	施氮比例 N application ratio (%)	施氮量 N application rate (kg · hm^{-2})
T_1	30	60	70	140	0	0
T_2	30	60	0	0	70	140
T_3	20	40	30	60	50	100
T_4	30	60	30	60	40	80
T_5	40	80	20	40	40	80
T_6	100	200	0	0	0	0
CK	0	0	0	0	0	0

统计每小区西瓜数,计算产量.采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量[19],比色法测定维生素 C 含量[19],紫外分光光度法测定硝酸盐含量[19].有效酸度用 pH 计测定[18],土壤基础理化性状测定采用土壤农业化学常规分析方法[18].

1.5　数据处理

植株氮素积累转运与利用的相关计算公式[20-22]:

各器官氮素积累量(kg · hm^{-2}) = 氮素含量×干物质质量

各器官氮素分配比例 = 各器官的氮素积累量/单茎氮素积累量×100%

营养器官氮素转运量(kg · hm^{-2}) = 开花期营养器官氮素积累量−成熟期营养器官氮素积累量

营养器官氮素转运率 = 营养器官氮素转运量/开花期营养器官氮素积累量×100%

营养器官转运氮素贡献率(花后果实积累氮素贡献率) = 营养器官氮素转运量/成熟期果实氮素积累量×100%

氮素收获指数 = 果实氮素积累量/植株氮素积累量

氮肥偏生产力(kg · kg^{-1}) = 施氮区产量/施氮量

氮肥吸收利用率 = (施氮区地上部吸氮量−空白区地上部吸氮量)/施氮量×100%

采用 Excel 2003 和 SPSS 16.0 软件对数据进行统计分析.采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析和多重比较($\alpha = 0.05$),利用 Excel 2003 软件作图.图表中数据为平均值±标准差.

2　结果与分析

2.1　不同氮肥运筹方式对西瓜产量的影响

由图 1 可知,施氮处理西瓜产量均显著高于对照,在相同施氮量水平下不同氮肥运筹方式之间西瓜产量差异显著,其中,T_4 和 T_6 处理较传统施肥模式 T_1 西瓜产量分别显著提高 11.6% 和 12.5%,而 T_5 处理西瓜产量显著低于其他施氮处理,主要是 T_5 处理基肥氮施用量过高,严重抑制了西瓜出苗和苗期生长,而加入长效剂 NAM 的 T_6 处理,由于 NAM 含有硝化抑制剂和脲酶抑制剂,对氮素释放具有抑制功能,虽然氮肥一次性施入,但不会对苗期生长产生负面影响.另外,T_3 处理西瓜产量也偏低.由此可见,基肥氮过高或过低都不利于西瓜产量的形成.

2.2　不同氮肥运筹方式对西瓜品质的影响

含糖量和酸度是影响西瓜品质的重要指标,在西瓜所有品质指标中,含糖量和酸度与西瓜感官鉴定的相关系数最高[23].由表 2 可知,施氮可显著改善西瓜品质,且氮肥运筹方式对西瓜各品质指标也有显著影响,其中,T_4、T_5 和 T_6 处理较传统施肥模式 T_1 西瓜可溶性糖含量分别显著提高 16.5%、8.5% 和 11.7%,有效酸度分别提高 4.5%、3.7% 和 2.8%,糖酸比分别提高 19.4%、10.7% 和 13.4%,Vc 含量分别提高 35.6%、12.1% 和 19.0%,其中以 T_4 处理的提高幅度最大.施氮显著提高了西瓜果实的硝酸盐含量,

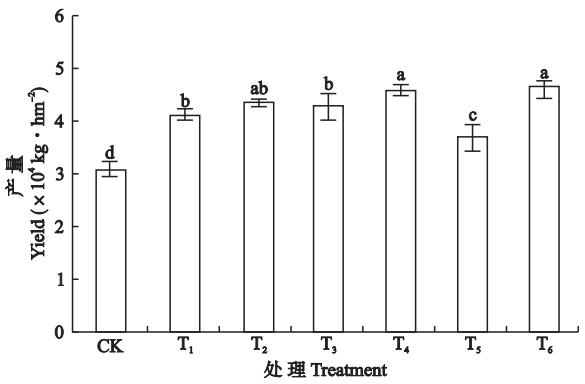


图 1　氮运筹对西瓜产量的影响

Fig.1　Effects of N management on watermelon yield.

不同字母表示差异显著($P < 0.05$) Different letters meant significant difference at 0.05 level.

表 2 氮运筹对西瓜品质的影响
Table 2 Effects of N management on watermelon quality

处理 Treatment	可溶性糖 Soluble sugar (S, %)	有效酸 Effective acid (A)	糖酸比 S/A	Vc 含量 Vc content (mg·kg^{-1})	硝酸盐含量 Nitrate content (mg·kg^{-1})
CK	8.3±0.6e	5.05±0.02d	0.93±0.06e	24.11±2.16d	87.02±12.30c
T_1	8.9±0.1d	5.17±0.04cd	1.01±0.02de	27.99±1.08c	122.45±9.04b
T_2	9.2±0.4cd	5.22±0.05bc	1.05±0.04cd	31.07±1.03bc	179.28±9.43a
T_3	9.2±0.4cd	5.24±0.09bc	1.05±0.05cd	27.90±1.96c	130.39±8.84b
T_4	10.4±0.4a	5.40±0.10a	1.21±0.05a	37.96±1.41a	128.26±1.05b
T_5	9.7±0.2bc	5.36±0.06ab	1.12±0.02bc	31.38±2.00b	157.30±19.01a
T_6	9.9±0.3ab	5.31±0.15ab	1.15±0.06ab	33.32±2.73b	110.76±5.03b

同列不同字母表示差异显著($P<0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. 下同 The same below.

不同氮运筹方式间,T_2 和 T_5 处理西瓜硝酸盐含量显著高于其他处理.

2.3 不同氮肥运筹方式对西瓜干物质积累和分配的影响

各处理西瓜干物质积累过程的总趋势一致,即随着生育期的进展而逐渐增加.其中,苗期积累缓慢,从伸蔓期开始增长迅速,果实膨大期达到高峰.苗期至坐果期主要是茎、叶生长,期间干物质积累量占植株总干物质积累量的 65.0%~82.5%,其中以叶的干物质积累为主,伸蔓期叶的干物质积累量占 77.5%~79.7%,坐果期叶的干物质积累量占 79.5%~81.1%,而坐果后主要是果实增长迅速,期间植株、果实干物质增长量分别占西瓜总干物质积累量的 4.3%~10.9%和 71.5%~79.8%.不同氮运筹方式间,T_1、T_4和 T_6处理在西瓜苗期、伸蔓期和坐果期干物质积累显著高于 CK,其中苗期较 CK 分别显著增加 64.6%、64.6%和 108.2%,伸蔓期分别显著提高了 111.7%、114.6%和 90.8%,坐果期分别显著提高 45.8%、32.7%和 22.1%.坐果后至成熟期,T_1、T_2、T_3、T_4、T_5、T_6处理植株干物质积累量分别占干物质总积累量的 10.4%、15.9%、12.9%、4.3%、12.5%和 9.5%,果实干物质积累量分别占干物质总积累量的 89.6%、84.1%、87.1%、95.8%、87.6%和 90.5%,表明 T_2处理此期植株干物质积累量最多,而 T_4和 T_6处理植株干物质积累量较少,果实增长量较多(表 3).

2.4 不同氮肥运筹方式对西瓜氮素积累和分配的影响

由表 4 可知,氮素积累随西瓜生育期各器官干物质积累的增加而增加,其中苗期、伸蔓期、坐果期和成熟期氮积累量分别占西瓜全生育期氮积累总量的 1.2%~1.4%、5.7%~9.3%、16.3%~27.9%和 62.4%~76.7%.可见,坐果后氮素积累最为迅速,此期也是西瓜氮肥最大需求期.从西瓜不同器官氮素分配比例来看,伸蔓期叶片、茎的氮分配比例分别为 84.2%~86.5%和 13.5%~15.8%,坐果期分别为 88.3%~90.6%和 9.5%~11.8%,成熟期叶片、茎、果实氮素分配比例分别为 16.2%~25.6%、2.9%~5.5%、70.5%~80.9%.可见,西瓜坐果前主要以叶片氮积累为主,而坐果后主要以果实氮积累为主.从不同氮肥运筹方式来看,T_1、T_4和 T_6处理西瓜坐果前氮素积累显著高于 CK,至坐果期植株氮积累较 CK 分别显著提高 62.0%、45.4%和 37.0%.西瓜成熟期,除 T_2处理外,其他处理植株氮积累量均小于坐果期,其中茎氮积累量基本维持稳定,主要是叶片氮积

表 3 氮运筹对西瓜干物质积累量的影响
Table 3 Effects of N management on dry matter accumulation amount of watermelon (g·plant^{-1})

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	伸蔓期 Vine stage			坐果期 Fruit stage			成熟期 Mature stage			
	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	果实 Fruit	全株 Total
CK	1.10d	1.25c	4.83c	6.08c	7.95c	34.04c	41.99c	13.27e	37.64e	156.86c	207.77c
T_1	1.81b	2.61a	10.26a	12.87a	12.78a	48.44a	61.22a	18.79bc	67.61ab	216.76b	303.16b
T_2	1.78bc	1.86b	7.10b	8.96b	9.02bc	35.35c	44.37c	19.81b	68.81a	233.51b	322.13ab
T_3	1.84b	2.61a	8.98ab	11.59ab	9.55bc	38.16bc	47.71bc	22.30a	58.74c	225.67b	306.71b
T_4	1.81b	2.75a	10.30a	13.05a	11.42a	44.28ab	55.70ab	16.57cd	51.01d	267.48a	335.06a
T_5	1.41cd	1.98b	7.62b	9.60b	8.98bc	37.24bc	46.22bc	14.12de	62.68bc	215.09b	291.89b
T_6	2.29a	2.64a	8.96ab	11.60ab	10.10ab	41.16b	51.26b	18.38bc	60.43c	262.81a	341.62a

表 4　氮运筹对西瓜各器官氮素积累量的影响

Table 4　Effects of N management on nitrogen accumulation amount in different organs of watermelon (g · plant^{-1})

处理 Treatment	苗期 Seedling stage	伸蔓期 Vine stage			坐果期 Fruit stage			成熟期 Mature stage				
	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	全株 Total	茎 Stem	叶 Leaf	地上部 Aboveground	果实 Fruit	全株 Total
CK	0.04b	0.03c	0.20d	0.23c	0.10c	0.98d	1.08d	0.12c	0.56d	0.68d	2.38d	3.06e
T_1	0.07a	0.07a	0.43a	0.50a	0.19a	1.56a	1.75a	0.18b	1.19a	1.37a	3.28c	4.65d
T_2	0.07a	0.05b	0.31c	0.36b	0.13bc	1.08cd	1.21cd	0.19b	1.24a	1.43a	3.77b	5.20bc
T_3	0.07a	0.07a	0.39ab	0.46a	0.14b	1.18bc	1.32bc	0.26a	1.01b	1.27b	3.43bc	4.70cd
T_4	0.07a	0.08a	0.45a	0.53a	0.18a	1.39ab	1.57ab	0.16bc	0.88c	1.04c	4.41a	5.45ab
T_5	0.05b	0.05b	0.34bc	0.39b	0.13bc	1.10cd	1.23cd	0.16bc	1.06b	1.22b	3.02c	4.23d
T_6	0.08a	0.07a	0.41ab	0.48a	0.15ab	1.33b	1.48b	0.18b	1.03b	1.21b	4.75a	5.96a

表 5　氮运筹对西瓜氮素转运和利用的影响

Table 5　Effects of N management on nitrogen translocation and utilization of watermelon

处理 Treatment	坐果期 Fruit stage	成熟期 Mature stage		氮运转量 NTA (kg · hm^{-2})	氮运转率 NTR (%)	氮素贡献率 NCR (%)	氮素收获指数 NHI	氮肥偏生产力 NPFP	氮利用率 NRE (%)
	植株 Plant (kg · hm^{-2})	植株 Plant (kg · hm^{-2})	果实 Fruit (kg · hm^{-2})						
CK	14.44d	9.07d	31.74d	5.37b	37.2a	17.2a	0.78b	–	–
T_1	23.34a	18.26a	43.77c	5.08b	21.8b	11.7b	0.71c	205.80b	10.6d
T_2	16.19cd	19.14a	50.26b	−2.95e	–	–	0.72c	218.20ab	14.3bc
T_3	17.65bc	16.93b	45.82bc	0.72d	4.1c	1.6d	0.73c	213.89b	11.0cd
T_4	20.95ab	13.91c	58.78a	7.04a	33.6a	12.0b	0.81a	229.71a	15.9ab
T_5	16.38cd	16.18b	40.30c	0.20d	1.2c	0.5d	0.71c	184.70c	7.8d
T_6	19.75b	16.18b	63.34a	3.57c	18.1b	5.8c	0.80ab	231.52a	19.4a

NTA: Nitrogen transportation amount; NTR: Nitrogen transportation ratio; NCR: Nitrogen contribution ratio; NHI: Nitrogen harvest index; NPFP: Nitrogen fertilizer partial factor productivity; NRE: Nitrogen fertilizer recovery efficiency.

累量的减少,表明坐果后主要是叶片积累的氮向果实转运.T_4和 T_6处理植株氮积累量较传统氮模式 T_1处理分别显著减少 24.1%和 11.7%,而果实氮积累量显著提高 34.5%和 44.8%,西瓜全株总氮积累量分别显著提高 17.2%和 28.2%,其茎、叶、果实氮吸收比例均为 1∶6∶27.

2.5　不同氮肥运筹方式对西瓜氮素转运和利用的影响

由表 5 可以看出,氮肥运筹方式不同,氮素的运转和利用也不同.除 T_2处理外,其他处理西瓜坐果后均有营养器官氮素向果实的转运,这主要是由于 T_2处理在西瓜果实膨大期追施氮肥,而坐果前不追施氮肥,因此 T_2处理至西瓜坐果期植株干物质和氮素积累均较低,果实氮素的积累主要来源于对外界氮素的吸收.其次,T_3和 T_5处理氮素转运量较低,表明基肥氮素过高或过低都会影响西瓜氮素的积累和运转.其中,T_4处理氮素转运量显著高于其他处理,较传统氮运筹模式 T_1提高 38.6%,其氮素运转率和氮素贡献率分别达到 33.6%和 12.0%.在所有的施氮处理中,T_4和 T_6处理氮素收获指数、氮肥偏生产力和氮肥利用率最高,较 T_1分别显著提高 14.1%和 12.7%、11.6%和 12.5%、5.3%和 8.7%.

3　讨　　论

西瓜生长对氮素营养水平反应比较敏感,适量的氮素营养可以合成较多的蛋白质和叶绿素,加速植株茎和叶片的生长,提高西瓜进行光合作用的能力,有利于干物质积累和果实膨大,进而提高西瓜产量和品质[24].本研究中,在砂田西瓜优化施氮量水平[16]下设置的不同氮肥运筹方式处理的西瓜产量和品质均优于对照.氮肥不同运筹方式也会对作物产量和品质产生显著影响.有研究表明,与小麦分次施用(50%底肥、50%追肥)比较,拔节期一次全量追施对籽粒蛋白质质量的改善效应更为显著[11];水稻全生育期氮肥按基肥∶分蘖肥∶促花肥∶保花肥∶穗粒肥为 3∶1∶0.75∶0.75∶0.5 施用,较全部作基肥施用每穗实粒数增加 14.3 粒,千粒重提高 2.3 g,增产 14%以上[25];玉米基肥∶拔节肥∶大喇叭口期追肥比例为 5∶0∶5 时,较相同施氮量条件下其他基追比处理籽粒产量和粗蛋白含量均高[12].由此可见,不同作物的氮肥运筹方式存在较大差异,氮肥运筹方式应依据不同作物及品种的生理特性、生长发

育规律和需肥规律，以及土壤性质和肥力而选择应用[26].对于西瓜而言，前期生长缓慢，需肥量较少，但砂田基础肥力较低，基肥不足则会出现苗期营养不良；另外，由于砂田施肥较浅，基肥尤其化学氮肥忌多施，否则会影响西瓜种子发芽和苗期的生长发育，严重时会烧苗，如 T_5 处理西瓜苗期植株干质量和氮素养分积累量均显著低于其他施肥处理，以至于影响到了西瓜中、后期的生长发育及产量和品质的形成.因此，基施氮肥不足或过量都对砂田西瓜生长不利，在实际生产中，建议宁少勿多.

根据西瓜的生长发育规律，伸蔓期同化器官和吸收器官急剧增长，生殖器官初步形成，是“源”的形成期；坐果后，果实直径和体积急剧增长，果实已成为此时的生长中心和营养物质的输入中心，是“库”的形成期，同时也是决定西瓜产量高低的关键时期和西瓜的最大需肥期[27].作物产量的高低和品质的优劣，取决于同化产物源与库的及时形成及其物质合成、调配等关系，源库比例失调，都会对作物产量及品质形成产生不利影响[28-29].本试验条件下，T_2 处理西瓜伸蔓期不追肥，导致西瓜营养生长期植株总干质量和氮素积累量明显低于其他施肥处理，因此“源”形成受到限制，后期大量追肥虽对产量影响不大，但品质却明显下降；T_1 传统施肥模式仅在伸蔓期一次性追肥，导致西瓜营养生长过旺，至西瓜成熟期，营养器官氮素积累量显著高于其他处理，而果实氮素积累量偏低，源库比例失调，最终影响到产量和品质的形成.T_4 处理氮肥运筹方式兼顾了西瓜栽培的环境条件和生长发育规律，使得源库比例协调，因此产量和品质均较优，且合理氮肥运筹显著改善西瓜植株对氮素的积累和运转，有利于氮肥的吸收与利用.

砂田在连续种植过程中，由于播种、施肥等田间作业，砂层含土量逐年增加，导致土壤水热效应及西瓜产量、品质、水分利用效率均随着种植年限的延长而逐渐降低[30].因此，减少砂田西瓜的施肥次数不仅可以降低劳动力强度和成本，且对延长砂田的使用年限和砂田西瓜产业的可持续发展具有重要意义.长效剂 NAM 由于含有硝化抑制剂和脲酶抑制剂，对肥料中的氮素具有长效缓释功能，已有研究表明，在施肥量相同条件下，化肥添加 NAM 一次性基肥施入，可提高砂田西瓜叶片的叶绿素含量和光合速率，较常规施肥西瓜增产 34%，且显著提高了西瓜 Vc 含量，降低了糖分梯度和硝酸盐含量，提高了西瓜品质[31].本研究中，化肥添加 NAM 一次性基肥施入的 T_6 处理在西瓜产量、品质及全生育期营养器官、果实氮素积累量等方面均与优化氮肥运筹方式 T_4 处理达到了相似的效果，且氮肥利用率最高，较 T_4 处理简约化程度高，既减轻了砂田的施肥强度，又减少了对砂田的翻动次数，延缓了砂田的“衰老”.

作物生长期对肥料氮素的吸收、转运及利用率除受施氮量和施氮方式影响外，土壤水分状况也是其主要的影响因素之一.有研究表明，作物开花期和成熟期营养器官和总籽粒的氮素积累量、花后营养器官氮素的转移量、氮肥利用效率和氮肥偏生产力均随干旱胁迫的加剧而降低[32-33].砂田多分布在我国西北干旱、半干旱区的丘陵沟壑地带，西瓜生育期内降雨量少且无灌溉条件，加之砂层覆盖，施肥难度较大，无论是基肥条施还是追肥穴施，仅施在砂层之下、土层之上，因此干旱胁迫和施肥较浅可能是导致本试验氮肥吸收、利用指标较低的主要原因.另外，本试验是采用差减法计算的传统氮肥利用率，仅用来比较本试验施氮量相同条件下，不同氮肥运筹处理间西瓜氮肥吸收利用的相对值大小.本方法由于受土壤基础肥力、作物生长情况等因素的影响具有很大局限性.为此国内外学者尝试了许多改进方法，针对氮肥在后茬作物上的残效影响，提出了累计氮肥利用率、比值法氮肥利用率和平衡法氮肥利用率[34]，对于残留肥料氮对土壤氮消耗补偿效应这一核心问题提出了氮肥有效率的概念[35].随着这些概念的革新和计算方法的改进，今后对氮肥在砂田土壤中的残留、损失及氮肥力补偿方面还需进一步研究.

参考文献

[1] Liu Q-H (刘谦和), Li Z-Q (李志强). Feature of soil water evaporation and temperature dynamics of gravel mulched soil. *Gansu Agricultural Science and Technology* (甘肃农业科技), 1993(8): 26-28 (in Chinese)

[2] Xu Q (许 强), Qiang L (强 力), Wu H-L (吴宏亮), *et al*. Study on sandy-field ecosystem affection. *Journal of Ningxia University* (Natural Science) (宁夏大学学报：自然科学版), 2009, **30**(2): 180-182 (in Chinese)

[3] Modaihsh AS, Horton R, Kirkham D. Soil water evaporation suppression by sand mulches. *Soil Science*, 1985, **139**: 357-361

[4] Gale WJ, McColl RW. Sandy fields traditional farming for water conservation in China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, **48**: 474-477

[5] Nachtergate J, Poesen JW, Van Wesemael B. Gravel mulching in vineyards of southern Switzerland. *Soil &*

Tillage Research, 1998, **46**: 51-59

[6] Wang Y-J (王亚军), Xie Z-K (谢忠奎), Zhang Z-S (张志山), *et al*. Effects of rainwater harvesting for supplementary irrigation on watermelon in gravel and plastic mulched field in Gansu. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2003, **23**(3): 300-304 (in Chinese)

[7] Chen N-L (陈年来), Liu D-S (刘东顺), Wang X-W (王晓巍), *et al*. Research and development of gravel mulch production in Gansu Province. *China Cucurbits and Vegetables* (中国瓜菜), 2008(2): 29-31 (in Chinese)

[8] Liu S-F (刘声峰), Guo S-J (郭守金). Cultivation Techniques and the Research of Pollution-Free Pressure Sand Melon. Yinchuan: Ningxia People Press, 2008 (in Chinese)

[9] Tang F-L (唐粉玲), Zhang R-L (张如莲). Research advance of watermelon fertilization. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* (安徽农业科学), 2007, **35**(26): 8195-8196 (in Chinese)

[10] Wu G-L (吴光磊), Guo L-Y (郭立月), Cui Z-Y (崔正勇), *et al*. Differential effects of nitrogen managements on nitrogen, dry matter accumulation and transportation in late-sowing winter wheat. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2012, **32**(16): 5128-5137 (in Chinese)

[11] He M-R (贺明荣), Yang W-Y (杨雯玉), Wang X-Y (王晓英), *et al*. Effects of different N management modes on grain yield and quality as well as fertilizer N use efficiency of winter wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2005, **31**(8): 1047-1051 (in Chinese)

[12] Jiang T (姜　涛). Effects of nitrogen application regime on yield, quality and plant nutrient contents of summer maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2013, **19**(3): 559-565 (in Chinese)

[13] Lu Y-J (鲁运江). Effect of different nitrogen fertilizer dosage on yield and quality of watermelon. *Soils and Fertilizers* (土壤肥料), 1997(4): 48-51 (in Chinese)

[14] Chen G (陈　钢), Song Q-S (宋桥生), Wu L-S (吴礼树), *et al*. Effect of different nitrogen levels on yield and quality of watermelon. *Journal of Huazhong Agricultural University* (华中农业大学学报), 2007, **26**(4): 472-475 (in Chinese)

[15] Zhang Y-F (张玉凤), Dong L (董　亮), Liu Z-H (刘兆辉), *et al*. Effects of fertilization amount and ratio on yield, quality and nutrient absorption of watermelon. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* (中国生态农业学报), 2010, **18**(4): 765-769 (in Chinese)

[16] Du S-P (杜少平), Ma Z-M (马忠明), Xue L (薛亮). Effects of interaction between density and nitrogen on the yield, quality and nitrogen use efficiency of watermelon in gravel mulched-field. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2013, **19**(1): 150-157 (in Chinese)

[17] Ma Z-M (马忠明), Du S-P (杜少平), Xue L (薛亮). The countermeasures research on the present condition and problems of melon in gravel mulched-field. *China Cucurbits and Vegetables* (中国瓜菜), 2010, **23**(3): 60-63 (in Chinese)

[18] Bao S-D (鲍士旦). Soil and Agricultural Chemistry Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)

[19] Hao J-J (郝建军). Experimental Technique in Plant Physiology. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press, 2001 (in Chinese)

[20] Stevens WB, Hoeft RG, Mulvaney RL. Fate of nitrogen-15 in a long-term nitrogen rate study. Ⅱ. Nitrogen uptake efficiency. *Agronomy Journal*, 2005, **97**: 1046-1053

[21] Shukla AK, Ladha JK, Singh VK, *et al*. Calibrating the leaf color chart for nitrogen management in different genotypes of rice and wheat in a systems perspective. *Agronomy Journal*, 2004, **96**: 1606-1621

[22] Xu G-W (徐国伟), Tan G-L (谈桂露), Wang Z-Q (王志琴), *et al*. Effects of wheat-residue application and site-specific nitrogen management on grain yield and quality and nitrogen use efficiency in direct-seeding rice. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2009, **42**(8): 2736-2746 (in Chinese)

[23] Zhang F (张　帆), Gong G-Y (宫国义), Wang Q (王　倩), *et al*. Analysis of watermelon quality structure. *Journal of Fruit Science* (果树科学), 2006, **23**(2): 266-269 (in Chinese)

[24] Cheng G (陈　钢), Wang H-T (王宏太), Ding M (丁　萌), *et al*. Study on nutrition and fertilization of watermelon. *Journal of Changjiang Vegetables* (长江蔬菜), 2006(3): 37-39 (in Chinese)

[25] Yang A-Z (杨安中), Li M-L (李孟良), Mu X-L (牟筱玲), *et al*. Effect of nitrogen application on photosynthesis and senescence of flag-leaf and yield of upland rice cultivated in mulched soil. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2006, **43**(4): 703-707 (in Chinese)

[26] Wu D (吴　迪), Huang S-W (黄绍文), Jin J-Y (金继运). Effects of nitrogen fertilizer management, organic manure application and bed-irrigation sowing on maize yield, and nutrient uptake and translocation. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2009, **15**(2): 317-326 (in Chinese)

[27] Wang J (王　坚). Chinese Watermelon and Muskmelon. Beijing: China Agriculture Press, 2000 (in Chinese)

[28] Tang R-Y (唐瑞永), Chen N-L (陈年来), Hu M (胡

敏), *et al*. Effects of source-sink relationship between leaves and fruit on fruit characteristics of *Cucumis melon*. *Journal of Gansu Agricultural University* (甘肃农业大学学报), 2007, **42**(5): 49-52 (in Chinese)

[29] Liang H-Z (梁红柱), Dou D-Q (窦德泉), Feng Y-L (冯玉龙). Effects of manipulating the size of source and sink on soluble sugar and starch content and fruit yield in *Amomum villosum* Lour. *Journal of Hebei University* (Natural Science) (河北大学学报:自然科学学报), 2004, **24**(6): 632-636 (in Chinese)

[30] Ma Z-M (马忠明), Du S-P (杜少平), Xue L (薛亮). Influences of sand-mulching years on soil temperature, water content, and growth and water use efficiency of watermelon. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 2013, **33**(5): 1433-1439 (in Chinese)

[31] Ma Z-M (马忠明), Du S-P (杜少平), Xue L (薛亮), *et al*. Effects of different N, P and K ratios and NAM on growth, quality and nutrient utilization of watermelon mulched with gravel in semiarid area. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences* (核农学报), 2013, **27**(3): 358-364 (in Chinese)

[32] Xu Y (徐 莹). Post-anthesis Dry Matter and Nitrogen Dynamics in Winter Wheat as Affected by Nitrogen Supply and Water Deficit. Master Thesis. Beijing: University of Chinese Academy of Sciences, 2013 (in Chinese)

[33] Li P-L (李培岭), Zhang F-C (张富仓). Coupling effects of partitioning alternative drip irrigation with plastic mulch and nitrogen fertilization on cotton dry matter accumulation and nitrogen use. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2013, **24**(2): 416-422 (in Chinese)

[34] Yang X-L (杨宪龙), Lu Y-L (路永莉), Li R (李茹), *et al*. Discussion on the calculation method of nitrogen use efficiency (NUE) in long-term field experiments under wheat and maize rotation systems. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2014, **25**(12): 3514-3520 (in Chinese)

[35] Ju X-T (巨晓棠). The concept and meanings of nitrogen fertilizer availability ratio discussing misunderstanding of traditional nitrogen use efficiency. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2014, **51**(5): 921-933 (in Chinese)

作者简介 马忠明,男,1963 年生,博士,研究员. 主要从事节水农业、土壤生态及作物栽培耕作研究. E-mail: mazhming@163.com

责任编辑 孙 菊